



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
CATAMARCA



FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
LICENCIATURA EN GEOLOGÍA

SEMINARIO

ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA  
CONSTRUCCIÓN DE LA FUTURA  
“CIUDAD UNIVERSITARIA”- DPTO.  
CAPITAL - PROVINCIA DE  
CATAMARCA

**ALUMNOS**

José Oriel Blas Bosch M.U.N° 487  
Luis Ignacio Tártalos Aredez M.U.N° 525

**DIRECTOR**

Lic. Ricardo Rubén Rojas

***JUNIO 2019***



## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	1
RESUMEN .....	4
1.1.    Introducción .....	6
1.2.    Objetivo General y Objetivos Específicos.....	7
1.2.1. Objetivo General .....	7
1.2.2. Objetivo Específicos.....	7
1.3.    Ubicación y Vías de acceso .....	7
2. DESCRIPCIÓN DEL AMBIENTE DEL AREA DE ESTUDIO.....	11
2.1.    CLIMA.....	11
2.1.1. Vientos .....	14
3. GEOLOGÍA DEL VALLE CENTRAL.....	15
1. ESTRATIGRAFÍA DEL VALLE CENTRAL.....	15
1.1.    Precámbrico – Paleozoico Inferior.....	15
1.1.1. Formación La Cébila .....	15
1.1.2. Formación El Portezuelo .....	17
1.2.    Cuaternario - Pleistoceno.....	17
1.2.1. Formación Concepción.....	17
1.3.    Cuaternario - Holoceno .....	18
1.3.1. Formación Coneta.....	18
1.3.2. Formación Paclín .....	19
2. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS .....	23
2.1.    Tamaño y Forma de Partículas .....	23
2.2.    Propiedades Físicas del Suelo (William T. Lambe, 1997).....	25
2.2.1. Relaciones Volumétricas: .....	25
2.2.2. Relaciones Gravimétricas:.....	25
2.2.3. Pesos unitarios del suelo seco, húmedo y sumergido: .....	26
2.2.4. Peso Unitario, Natural y Suelto:.....	26
2.2.5. Estado de consistencia de los suelos amasados:.....	27
2.3.    Granulometría de los suelos.....	31
2.3.1. Cálculos: .....	36
2.3.2. Representación Gráfica:.....	36



2.4. Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification System-USCS) .....	36
2.4.1. Suelos Gruesos .....	39
2.4.2. Suelos Finos .....	40
2.4.3. Carta de Plasticidad .....	41
2.4.4. Ensayos In Situ para determinar Capacidad de Carga .....	41
2.4.5. Ensayo de Penetración Standard, S.P.T. ....	41
2.4.6. Ensayo de Compresión Simple: .....	45
2.4.7. Representación gráfica:.....	48
2.5. Compactación de Suelos .....	48
2.5.1. Ensayo de Compactación en laboratorio. ....	48
3. MECÁNICA DE SUELOS .....	52
3.1. Generalidades:.....	52
3.1.1. Estudio de la Mecánica de Suelos:.....	52
3.1.2. Características y Propiedades .....	53
3.1.3. Comportamiento del Suelo .....	53
3.1.4. Planificación de un Estudio de Suelos.....	54
3.1.5. Sondeos .....	55
3.1.6. Calicata .....	56
3.2. Parámetros Geomecánicos.....	57
3.2.1. Compacidad .....	57
3.2.2. Ángulo de fricción interna y cohesión .....	58
3.2.3. Capacidad de carga y tensión admisible .....	58
4. TRABAJOS DE CAMPO .....	62
4.1. Etapa de trabajo y recolección de muestras.....	62
4.2. Sondeos de profundidad .....	63
4.2.1. Instrumental utilizado para el trabajo para sondeos:.....	63
4.2.2. Procedimiento .....	63
4.3. Ensayos de penetración Standard, S.P.T. (Ensayo Terzaghi) .....	64
4.3.1. Instrumental utilizado para el ensayo S.P.T. (Terzaghi).....	64
4.3.2. Procedimiento .....	65
4.4. Ensayo de Densidad por Cono de Arena. ....	66
4.4.1. Instrumental de trabajo.....	66
4.4.2. Preparación preliminar .....	67



4.4.3. Procedimiento .....	67
4.5. Calicata .....	68
4.5.1. Instrumental de trabajo .....	68
4.5.2. Procedimiento .....	69
5. TRABAJOS DE LABORATORIO .....	70
5.1. Contenido de humedad natural .....	70
5.1.1. Instrumental de trabajo .....	70
5.1.2. Procedimiento .....	70
5.1.3. Fórmula de humedad natural: .....	70
5.2. Ensayo de Granulometría. ....	72
5.2.1. Procedimiento .....	72
5.3. Determinación de límites de Atterberg: Límite Líquido y Plástico, Índice de plasticidad.....	74
5.3.1. Procedimiento .....	74
5.3.2. Límite Líquido.....	74
5.3.3. Límite Plástico .....	74
5.4. Ensayos de compactación Proctor (densidad máxima y humedad óptima). ....	76
5.5. Determinación del contenido de sales solubles y sulfatos. ....	78
5.5.1. Instrumental de trabajo.....	78
5.5.2. Procedimiento para suelo fino .....	78
5.5.3. Procedimiento para suelos gruesos.....	80
5.6. Ensayo para determinar el Peso Unitario Suelto .....	81
5.7. Ensayo de Compresión Simple .....	82
5.7.1. Instrumental de trabajo.....	82
5.7.2. Procedimiento .....	82
5.7.3. Muestra a ensayar.....	83
6. RESULTADOS ALCANZADOS .....	85
6.1. Estratigrafía.....	85
6.2. Descripción Estratigráfica – Zona Sur .....	85
6.3. Descripción Estratigráfica – Zona Central .....	88
6.4. Descripción Estratigráfica – Zona Norte .....	90
6.5. Parámetros Geomecánicos – Zona Sur .....	95
6.5.1. Densidad Relativa según método de Cono de Arena .....	95





6.5.2. Densidad Relativa, calculada a partir del ensayo de Penetración Estándar, S.P.T. ....	96
6.5.3. Angulo de fricción interna Ensayo S.P.T.....	96
6.5.4. Angulo de fricción interna Compresión Simple .....	97
6.5.5. Capacidad de carga y tensión admisible en fundaciones y asentamientos en Zona Sur. ....	98
6.6. Parámetros Geomecánicos – Zona Sur .....	100
6.6.1. Densidad Relativa – Sondeo N° 6 .....	100
6.6.2. Ensayo S.P.T. Sondeo N° 2 Ángulo de Fricción interna .....	100
6.6.3. Compresión Simple .....	101
6.6.4. Capacidad de carga y tensión admisible en fundaciones y asentamientos en zona intermedia. ....	101
6.7. Parámetros Geomecánicos – Zona Norte .....	102
6.7.1. Compacidad .....	102
6.7.2. Ángulo de Fricción (Según Chenn):.....	103
6.7.3. Fundación Zapata Cuadrada .....	103
7. CONCLUSIONES.....	106
8. RECOMENDACIONES .....	107
9. BIBLIOGRAFÍA .....	108



## AGRADECIMIENTOS

Al licenciado Ricardo Rojas por haber oficiado el cargo de director de tesis, por sus explicaciones, sus orientaciones y sus recomendaciones que enriquecen este trabajo.

Al señor Decano de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca, ingeniero Carlos Humberto Savio A la Secretaria Académica licenciada Natalia Fernández, a la Directora de Asuntos Académicos licenciada Miriam Cisterna, por siempre haber por siempre haber brindado su apoyo incondicional y constante predisposición a asistir a los estudiantes. Al personal de sección Alumnos de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Yesica Rasgido, Esteban Vega, Claudia Buenader y Ana Maria "Pucky" Rearte, por su excelente predisposición a asistir a los estudiantes de la facultad.

A la Directora de Departamento Mgter. Fátima Vilches por estar siempre pendiente de nuestra situación académica, aconsejarnos y recordarnos que hay que terminar a tiempo.

A nuestros compañeros y personas que nos asistieron y ayudaron a llevar a cabo tareas en las distintas etapas de este proyecto, Virginia Albornoz, Brian Ballhrost, Aldana Arias, Raúl Darío Blas, sin ellos esto no hubiera sido posible.

Al personal del laboratorio de Vialidad por habernos dedicado tiempo, disipar nuestras dudas y aportar su experiencia para un mejor resultado de las tareas de laboratorio, Mónica Rodríguez, Ramón Agüero, Mirian Bustamante, Pablo Godoy.



## AGRADECIMIENTOS DE JOSE ORIEL BLAS BOSCH

A toda mi familia, principalmente a mi mamá, Roca Saracho, por todo el apoyo y la paciencia a lo largo de todos estos años, por los sacrificios que tuvo que hacer para que hoy yo pueda ser quién soy y por creer en mí, incluso cuando yo no lo hacía. A mi Padre José Ramón Blas Bosch que hoy no está presente, pero supo con sus enseñanzas dejar su marca en la formación de la persona que soy.

A mi novia Gisel Estefania Moreno por su apoyo incondicional, por estar presente en los momentos de mi vida.

A mi hijo José Emir Blas Bosch que es mi fuente de alegría y el motivo de seguir a delante todos los días.

A mi director de Tesis Ricardo Rubén Rojas, a mi compañero y amigo Luis Ignacio Tártalos Aredez por integrar el mejor equipo de trabajo.

Quiero mencionar de manera personal y especial a mis profesores licenciado Ricardo Rubén Rojas y licenciada Ana María Salas por haber sido indispensables referentes en la mecánica de suelos.

Y a todas las personas que se cruzaron en mi camino y aportaron de una u otra manera su granito de arena.

¡Muchas gracias!

## AGRADECIMIENTOS DE LUIS IGNACIO TARTALOS AREDEZ

A todas las personas que no solo colaboraron con este trabajo sino a todos aquellos que formaron parte integral de mi formación y sin los cuales no estaría aquí ahora.

A toda mi familia, en primer lugar, a mi abuela Olga Márquez de Aredez, por ser la persona más valiente que conocí en mi vida, a Luis Ramón Aredez, por su vida, por el legado que dejó a nuestras vidas y ser la inspiración que da forma a mi camino.

A mis padres, Ernesto Melitón Cortez Tártalos, por haber sido el más valioso consejero y aliado en los momentos más importantes de mi vida, Adriana Olga Aredez, pilar fundamental de mi vida.

A mis hermanos, Mariano Paz, Josefina Paz y Sabino Felipe Tártalos por ser compañeros y maestros en este camino.

A mis amigos y compañeros, siempre presentes, en la distancia y las cercanías. Nicolás Fedeli y Leandro Morandini.

Debo agradecer de manera especial y sincera a mis profesores, de los cuales aprendí geología y mucho más. profesor Gustavo Toselli, por permitirme colaborar y adentrarme en la petrología; profesor Luis Eugenio Papetti por sus apasionadas enseñanzas y discusiones en las tardes de clases; al profesor Eremchuk y Trinidad Vergara por sus viajes que aportaron a mi formación profesional durante y después de las clases; al profesor Sergio "Tigre" Medina y profesora Margarita Sánchez por ser el mejor equipo de profesores que pude conocer; al profesor Luis Francisco Navarro García, por recordarme lo que un profesional debe ser; A la profesora. Adriana Niz, por su trabajo como docente y por los consejos que supo darme y me permiten estar hoy aquí; profesora Ana María Salas por su excelente actitud, apoyo e incentivo a terminar esta tarea; a la doctora y profesora Graciela Córdoba, por todo lo enseñado y mucho más por lo aprendido.

A todos mis compañeros de la carrera, con los que compartí desde el primer hasta el último día de clases y viajes, todos momentos inolvidables.

¡Muchas gracias!

## RESUMEN

El siguiente estudio tiene como objetivo principal determinar la naturaleza y propiedades geotécnicas del terreno donde se llevará a cabo la construcción de “La Futura Ciudad Universitaria”, para así poder definir el tipo y condiciones de cimentación más adecuada para la obra.

El terreno se encuentra ubicado en el Dpto. Capital en el Campo Las Heras, al Noreste de la Capital, limitando hacia el Oeste con la margen oriental del Arroyo Fariñango y al Este con la Sierra del mismo nombre; ocupa aproximadamente una superficie total de cuarenta y dos hectáreas (42 ha).

Geológicamente, se ubica sobre sedimentos de origen fluvial de baja energía, correspondiente a limos, limos arenosos, arenas finas limosas y arenas con distintos contenidos de finos y aporte aluvionales de gravas arenosas y limosas.

La metodología empleada se desarrolló en tres etapas; la primera etapa comprendió las tareas de gabinete previas a los trabajos de campo, se analizaron los antecedentes de áreas circundantes a la zona de estudio, informes técnicos, trabajos geotécnicos, y una revisión del terreno mediante imágenes de Google Earth Pro y la información geológica mediante la hoja 2966- II, San Fernando del Valle de Catamarca, a escala 1:250.000. En la segunda etapa se llevaron a cabo los trabajos de campo que consistieron en la exploración del suelo mediante la ejecución de once (11) sondeos divididos en dos sectores, Norte y Sur con profundidades aproximada de seis (6) metros, realizados con pala helicoidal. Conjuntamente se realizaron calicatas, ensayos de Penetración Estándar S.P.T. y determinación de densidad natural in situ por Cono de Arena. En la etapa de laboratorio ensayos granulométricos, determinación del contenido de humedad y consistencia, entre otros. En la tercera etapa se realizó un análisis e interpretación conjunta de los datos obtenidos tanto en campo como en laboratorio de ambos sectores y así poder definir las características y propiedades geotécnicas del área de estudio a partir de los cálculos efectuados.

En los resultados obtenidos, se determinó que el suelo está conformado en superficie por una secuencia limo arenosa fina de espesor variable, con mayor potencia en la zona sur y en profundidad suelos granulares compuestos por gravas y arenas, en función de las diferentes proporciones granulométricas se dividió el área de estudio en tres zonas diferentes, estas son; Zona Sur, Zona Central y Zona Norte. De acuerdo con este criterio se proponen tres tipos de fundación para los diferentes tipos de profundidades en las zonas propuestas de acuerdo a las distintas características del subsuelo.

Palabras Claves: Estudio Geotécnico - Complejo Futura Ciudad Universitaria - Capacidad de carga del terreno - Tipos de fundación - Asentamientos probables.



# CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. Introducción

El Informe de Seminario tiene como fin, cumplimentar con el Reglamento de Trabajo Final correspondiente al Plan de Estudio año 2004, de la carrera Licenciatura en Geología, de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca.

Ante el incremento de la matrícula y la creación de nuevas carreras, la Universidad Nacional de Catamarca requiere la construcción de nuevos espacios académicos y de recreación. El Estado Provincial ante esta necesidad, efectuó la donación de un predio ubicado en el antiguo "Campo Las Heras" en el sector Noreste de la ciudad capital, para la construcción de la Futura Ciudad Universitaria. El predio donado tiene una superficie de cuarenta y dos hectáreas (42 ha)

Para este proyecto, es sumamente importante realizar un estudio de suelos que permita conocer las características físicas y mecánicas de los mismos. El presente trabajo comprende el análisis geotécnico que permitirá determinar la naturaleza y características físico-mecánicas de soporte del suelo y realizar la evaluación de la capacidad estructural del sitio donde se llevará a cabo la construcción de la Futura Ciudad Universitaria.

El análisis de suelos es un paso clave a la hora de realizar cualquier proyecto, ya que éste permite determinar si el terreno es apto para llevar a cabo la construcción y evaluar el mejor sistema de fundación. Ya que si se sobrepasan los límites de la capacidad resistente de un suelo, se podrían producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales, que llevarían a deformaciones importantes, fisuras, grietas, alabeo o desplomo que desencadenarían, en casos extremos, el colapso de la obra o su inutilización y abandono.

El presente trabajo se encuentra conformado por los siguientes capítulos:

Capítulo I: Introducción, Capítulo II: Descripción del ambiente, Capítulo III: Geología del Valle Central, Capítulo IV: Marco Teórico, Capítulo V: Metodología de Trabajo, Capítulo VI: Resultados Alcanzados, Capítulo VII: Conclusiones y Recomendaciones, y Anexos.

## 1.2. Objetivo General y Objetivos Específicos

### 1.2.1. Objetivo General

- Determinar las características y propiedades de los suelos del predio donde se construirá la Futura Ciudad Universitaria, necesarias para definir el tipo, la cota y las condiciones de cimentación mediante la exploración geotécnica de detalle de la zona.

### 1.2.2. Objetivo Específicos

- Recopilar y analizar antecedentes de estudios realizados en zonas cercanas al área de estudio.
- Recuperar muestras representativas de sondeos y calicatas.
- Reconocer la secuencia estratigráfica del subsuelo de la zona de estudio.
- Efectuar perfiles edafológicos con orientación E-O, a fin de correlacionar los distintos tipos de suelos.
- Obtener los parámetros geo-mecánicos de los distintos suelos encontrados.
- Determinar la capacidad de carga y tensión admisible.
- Ubicar el nivel freático o establecer su ausencia.
- Determinar las posibles cotas de fundación.
- Proponer tipos de fundaciones de acuerdo a los resultados obtenidos.
- Estimar, de acuerdo con el tipo de fundación, los asentamientos probables.
- Representar áreas aptas para fundación.

### 1.3. Ubicación y Vías de acceso

El área de trabajo, que constituye el predio donde se realizó el estudio geotécnico para la construcción de la Futura Ciudad Universitaria se encuentra ubicado en San Fernando del Valle de Catamarca en el Dpto. Capital en el sector Noreste de nuestra ciudad, delimitada por las Av. México hacia el Sur y la Avenida los Terebintos al Norte, al Este con la Sierra de Fariñango y estadio Bicentenario, y al Oeste con el arroyo Fariñango. Ubicado entre las latitudes  $28^{\circ}26'3.72''S$  /  $28^{\circ}26'42.83''S$  y las longitudes  $65^{\circ}45'37.27''O$  /  $65^{\circ}45'24.82''O$  (Imagen 1).

Se accede al área de estudio partiendo desde la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas por Av. Belgrano con rumbo Este hasta intersectar Av. Alem, luego se prosigue por Av. Presidente Arnoldo Castillo para continuar por Av. México hasta el área de trabajo. El predio donde se construirá la Futura Ciudad Universitaria se encuentra frente al Predio Ferial y colindando con el Estadio Bicentenario (Foto 1).

Otra manera de acceder al área es partiendo desde la Facultad de Ciencias Económicas con rumbo Norte por calle Maestro Quiroga y continuando por Av. Choya hasta la intersección con Av. Los Terebintos, Luego se toma rumbo Este hasta la rotonda de acceso



al quebrada de Moreira, llegando al área de estudio por camino de tierra sin señalizar de rumbo Sur (Imagen 2).



Imagen 1: Ubicación del Área de Trabajo (Google Earth Pro, 2018)



Foto 1: Lugar de Trabajo a) Fotografía tomada frente al área de trabajo con vista al Oeste, b) Fotografía con vista al Este.



Imagen 2: Ubicación del área de trabajo y vías de acceso por zona Norte y Sur (Google Earth Pro, 2018).





## CAPÍTULO II

# DESCRIPCIÓN DEL AMBIENTE

---

## **2. DESCRIPCIÓN DEL AMBIENTE DEL AREA DE ESTUDIO**

La ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca se encuentra situada en una depresión tectónica delimitada por dos bloques sobre elevados, la sierra Ambato-Manchao al Oeste y la sierra El Alto-Ancasti al Este. Esta depresión es conocida como Valle Central, se encuentra delimitada al Oeste por la sierra del Colorado, y al Este por la sierra de Fariñango y el río del Valle que hacen las veces de límite con los departamentos Fray Mamerto Esquiú y Valle Viejo.

Dentro del Valle Central se erige la ciudad Capital sobre un terreno de características aluviales, es decir, producto de los depósitos provenientes de las cuencas de drenaje nacidas en las sierras. En promedio, se encuentra a 519 metros sobre el nivel del mar, siendo la zona Sudeste de la ciudad la más baja, a 490 metros sobre el nivel del mar, y la zona Oeste próxima a la quebrada de E Tala, la más alta, llegando a los 680 metros sobre el nivel del mar.

Los ríos permanentes que llegan hasta los bordes de la ciudad, cuyas aguas son utilizadas para consumo y riego son: el río El Tala que fluye a través de la quebrada homónima y cuyas aguas son aprovechadas para alimentar el dique El Jumeal y el río del Valle (colector principal), proveniente desde el departamento Fray Mamerto Esquiú. Hacia el Norte de la ciudad encontramos el cauce del arroyo Fariñango y hacia el Oeste el arroyo La Florida, arroyo Choya y arroyo San Lorenzo, estos últimos son de corriente esporádica, cercanos al área de estudio.

### **2.1. CLIMA**

La provincia de Catamarca posee tres tipos de climas (Mapa 1):

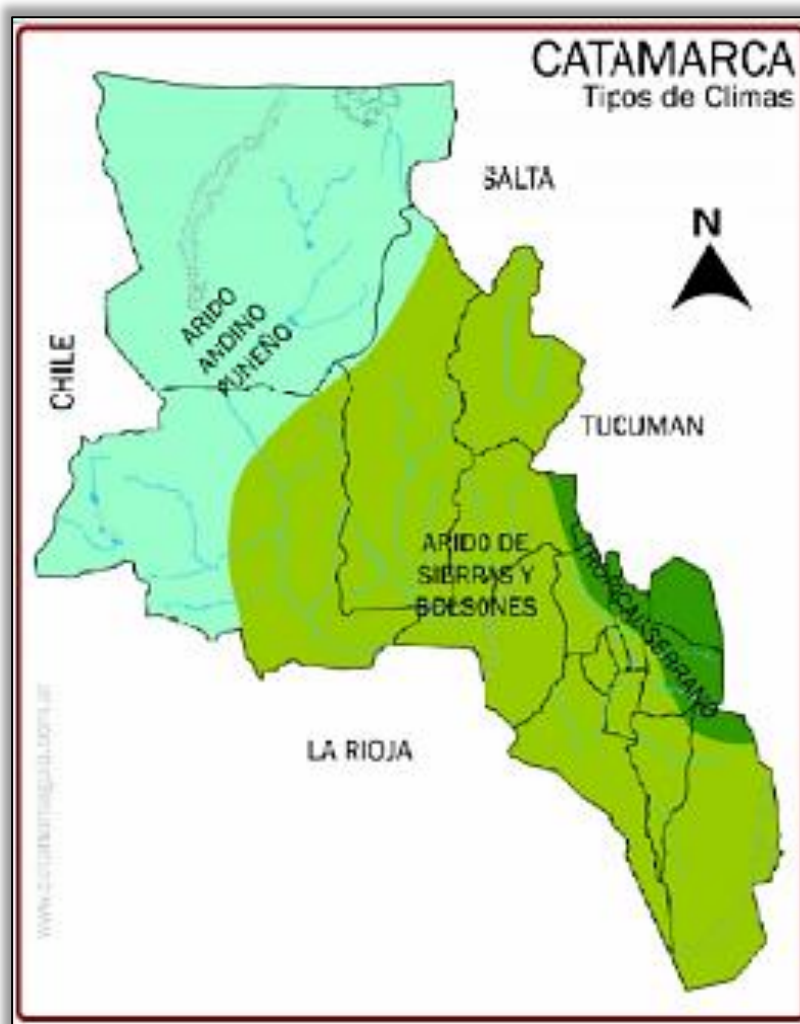
- **Clima Andino Puneño:** Puna y Oeste de la Provincia
- **Clima Árido de Sierras y Bolsones:** Centro y Este de la Provincia
- **Clima Subtropical Serrano:** Franja Este de la Provincia

La zona de estudio se encuentra dentro del clima árido de sierras y bolsones, que cupa la mayor parte de la provincia y corresponde al sistema de sierras pampeanas, la característica más significativa es la continentalidad por el aislamiento y la distancia al mar, presenta escasas precipitaciones (350 mm anuales) y se distribuyen en el período que comprende entre los meses de noviembre a marzo. También presenta notables variaciones térmicas, cielos despejados y escasa nubosidad. Durante el verano las temperaturas son elevadas (40°) y el invierno se caracteriza por un fuerte enfriamiento lo que provoca heladas.

Este clima posee las siguientes características generales:

- Debido a la excesiva sequedad del aire y a los fuertes vientos, el ambiente general es árido y semiárido.
- La temperatura de la región serrana es menos tórrida debido a la altura. En el verano, en las planicies, se registran temperaturas superiores a los 40°C. La temperatura media anual en época estival, es del orden de 30°C y época invernal, es del orden de 10°C, por lo general los inviernos son templados.

- El promedio anual en el Valle Central durante un periodo de 20 años es de 450 mm. Se registró una precipitación mínima total en el año 2010 y 2012 de 260 mm aproximadamente y una precipitación máxima de 760 mm en el año 1999. Las precipitaciones son mayores a partir de diciembre hasta marzo, esto agrava el problema de su escasez la intensa evaporación por las altas temperaturas. Las lluvias son más frecuentes en las sierras y siendo más elevadas en las laderas orientales que reciben el beneficio del anticiclón atlántico, lo que permite la formación de los ríos y nutre su vegetación. La ausencia de las lluvias es casi total durante el invierno (Imagen 3 y 4).



**Mapa 1: climas de la provincia de Catamarca**  
(ucpypfe.mininterior.gob.ar, 2011)

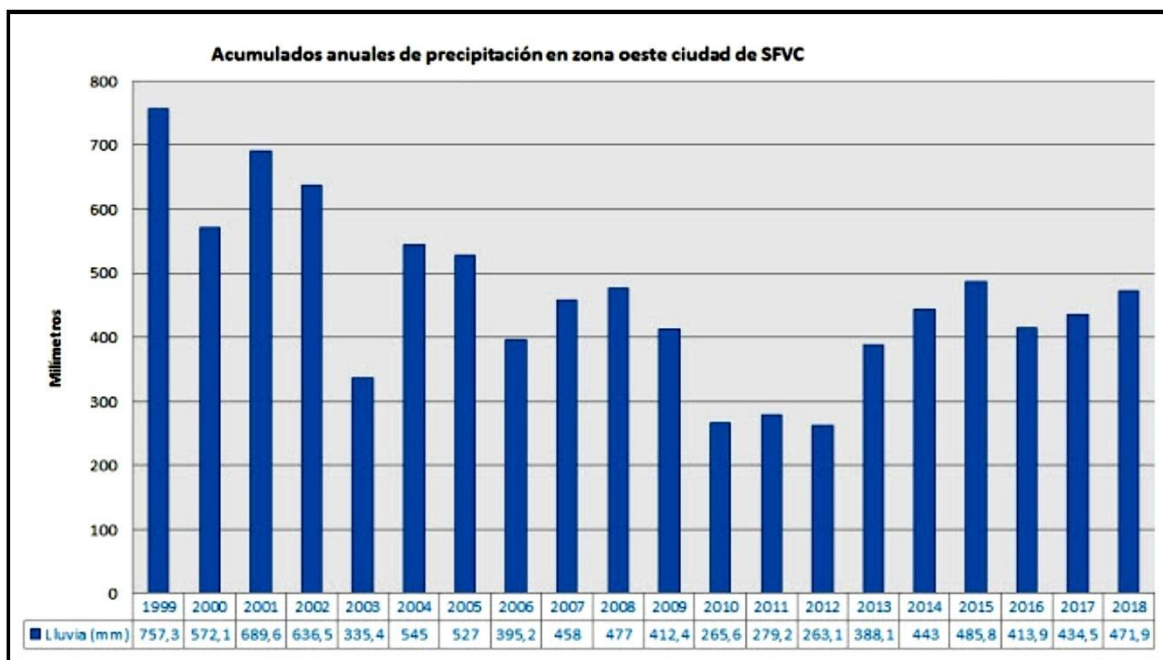


Imagen 3: Registro anual de Precipitaciones en la zona oeste de la ciudad capital de Catamarca desde 1999 hasta 2018 (Martinez, 2018).

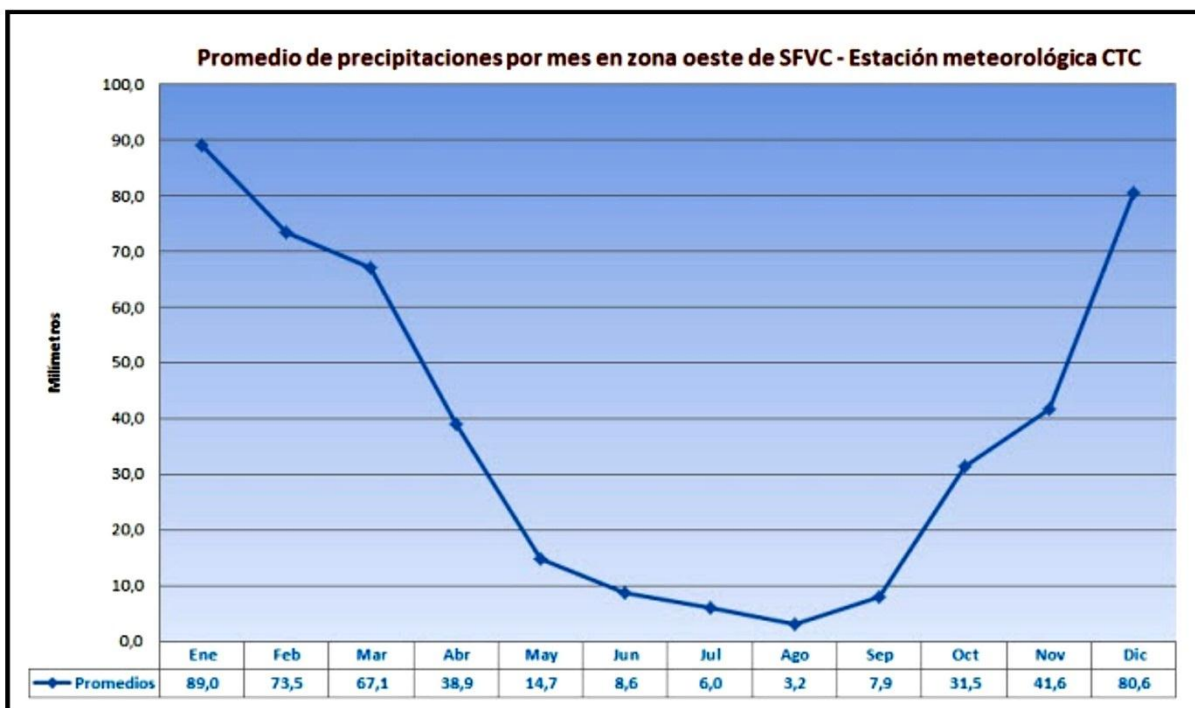


Imagen 4: Promedio de precipitaciones de cada mes, calculado con 20 años de registro en la de la ciudad de Catamarca (Martinez, 2018).

### 2.1.1. Vientos

La zona en estudio está influenciada por vientos locales cálidos y secos, de corta duración, además, es un área influenciada por vientos alisios del Noreste lo que define en general la dirección dominante (Gráfico 1).

El régimen eólico dominante en el Valle Central, presenta características bien definidas:

- Predominio de vientos del cuadrante Norte y Noreste.
- Son los más fuertes, con un promedio anual superior a 20 Km/hc soplan todo el año, aunque aumenta su intensidad al final de la primavera.
- Los vientos del cuadrante Sur son esporádicos y se registran al final del invierno, caracterizándose por la velocidad de sus ráfagas.
- La disminución de la velocidad varía progresivamente desde la estación ubicada en el aeropuerto Felipe Varela hacia el Norte debido a la existencia de zonas arboladas.



Gráfico 1: Rosa de los vientos, mostrando la dirección y velocidad de los vientos predominantes en la zona Oeste de la ciudad Capital de Catamarca (Meteoblue, 2018).



### 3. GEOLOGÍA DEL VALLE CENTRAL

La zona de estudio corresponde a la provincia geológica de Sierras Pampeanas, definidas inicialmente por Stelzner (1873), comprendidas entre las latitudes de 25° 33' a 33°, cubriendo una extensión Norte-Sur de novecientos (900) Km y unos cuatrocientos (400) Km en sentido Este-Oeste (Mapa 2).

El Valle Central está rodeado por las unidades orográficas de la sierra de Ambato-Manchaoy sierra de Ancasti, dentro del valle se elevan las sierras de Graciana, Fariñango y del Colorado, todas ellas tienen un ordenamiento Norte – Sur, entre cuyas depresiones se disponen planicies aluviales. El basamento cristalino está constituido por rocas metamórficas y graníticas procedentes del Paleozoico.

La estructura interna del basamento cristalino, registra varios episodios de deformación seguidos de un periodo de recristalización metamórfica y el subsiguiente fracturamiento procedente del Paleozoico superior, la morfoestructura actual se debe principalmente a las faces tectónicas activadas durante el Terciario. Las fallas principales conservan su rumbo original Norte-Sur.

El material sedimentario más antiguo procede del cuaternario, estos presentan depósitos visibles en las zonas de piedemonte, están constituidos por fanglomerados y areniscas, mientras que los más modernos se conforman por limos y arenas fluviales que se acumulan en zonas intermontanas.

## 1. ESTRATIGRAFÍA DEL VALLE CENTRAL

### 1.1. Precámbrico – Paleozoico Inferior

#### 1.1.1. Formación La Cébila

Esta unidad aflora al Oeste del departamento Capital, ocupando los faldeos occidentales de la cuenca del río El Tala y las serranías que conforman la cuenca del arroyo El Potrero. Su contacto oriental con la Formación El Portezuelo, (Aceñolaza et al. 1981) es tectónico, por medio de la falla que se extiende a lo largo de la quebrada de El Tala. Al Oeste, fuera de los límites del departamento, sus afloramientos continúan en las serranías vecinas.

#### Litología

Sus principales componentes varían de esquistos bandeados a filitas bandeadas, con abundancia de micas y cristales de cuarzo, poseen rumbos norte-sur, con inclinaciones promedio de unos 30° hacia el cuadrante oriental. Los afloramientos de esta unidad muestran un aspecto bandeado que varía en rangos de milímetros a centímetros. Alternan bandas leucocráticas cuarzo feldespáticas con otras oscuras predominantemente biotíticas. Un mesoplegamiento de las bandas, asociado a un aporte importante de venas cuarzosas es ocasionalmente otro de sus rasgos destacables. El metamorfismo regional de temperatura y presión moderada, determinado por Nullo (1981), se encuadra en la asociación albita - epidoto – anfíbolita.





Mapa 2: Geología de la zona estudio (Elaboracion Propia).

### 1.1.2. Formación El Portezuelo

La distribución de los afloramientos de esta unidad se ubica en el área norte del departamento Capital, formando las serranías del Colorado y de Fariñango. Su contacto con la Formación de La Cébila es tectónico, en la quebrada del Tala. Hacia el sur y sudeste está cubierta por sedimentos cuaternarios. Las pegmatitas que afloran en el departamento se ubican en la zona entre La Gruta y el Puesto La Aguada, Blasco et al. (1994).

#### Litología

Corresponden a esquistos gnéisicos, gneises bandeados y de ojos. González Bonorino (1978) describe que la inyección es de tipo lit-par-lit con presencia de diques de pegmatitas. Sobre el faldeo oriental del Ambato hace notar que la inyección es más difusa dando lugar a rocas del tipo migmatitas, esto se puede comprobar en la terminación austral de la sierra de Fariñango donde los afloramientos predominantes pertenecen a este tipo de rocas. Las pegmatitas identificadas en el distrito minero Capital son ricas en moscovitas e intruyen rocas migmatíticas y esquistos gnéisicos con rumbos norte-sur e inclinaciones suaves.

#### Edad

Estas rocas fueron ubicadas en el Paleozoico inferior por Nullo (1981), criterio mantenido por Blasco et al. (1994). Aceñolaza y Toselli (1981). En la sierra de Ancasti Lottner (1983) atribuye al Ordovícico los emplazamientos pegmatíticos.

## 1.2. Cuaternario - Pleistoceno

### 1.2.1. Formación Concepción

Los afloramientos de esta unidad se encuentran en la desembocadura de la cuenca del río Tala y en los arroyos Choya y San Lorenzo, sobre el borde oriental de las sierras del Colorado, corresponden a restos de antiguos conos aluviales generados por estas cuencas hidrográficas. A la salida del arroyo de Choya del tronco montañoso, afloran rocas de esta unidad que fueron atribuidas al Terciario superior, por Merea Llanos (1981) como Formación Sancas. Sin embargo, las observaciones en el terreno determinan una litología semejante a la Formación Concepción, ubicada inmediatamente al sur de dichos afloramientos. En los materiales que afloran en el frente de una cantera para áridos, se verificó la presencia de vidrio volcánico en su matriz fina. Elemento que Merea Llanos (1981) usó para diferenciar entre los depósitos cuaternarios y terciarios. La discordancia que observó Merea Llanos (1981) podría corresponder a que en la parte superior la Formación Concepción, culmina con derrames de flujos del tipo "debris flows".

#### Litología:

Son sedimentos fanglomerádicos, en el sentido de Polanski (1966) compuestos por bloques erráticos de hasta 1,5 m de diámetro y rodados del tamaño grava media a gruesa, la composición de estos depende de las áreas de aporte. En los depósitos en la desembocadura de la quebrada del Tala y al sur de esta, predominan los rodados de esquistos bandeados, micacitas y filitas provenientes de afloramientos de la Formación La

Cébila. Al norte de esta quebrada, los rodados están compuestos predominantemente por esquistos inyectados y migmatitas provenientes de los afloramientos correspondientes a la Formación El Portezuelo. Una de las características de estos depósitos es la alteración de sus rodados, los esquistos lo hacen aprovechando sus planos de esquistosidad y foliación, mientras que los rodados de migmatitas y granitoides lo hacen en forma catafilar. Esta característica es una constante de estos depósitos en la Sierras Pampeanas de Catamarca y estaría indicando un clima árido con importantes amplitudes térmicas diarias al momento de su depositación. Los afloramientos en el dique el Jumeal, muestran en la parte inferior, unos 20 m de una secuencia fanglomerádica gruesa, con muy poca matriz del tipo clasto soportante. Culmina en la parte superior con rocas xenoglomerádicas, matriz soportante, generadas por antiguas corrientes de barro del tipo "debris flows". A lo largo del camino, que corona el dique El Jumeal, es posible diferenciar lateralmente, tres depósitos de este tipo que asientan discordantemente sobre las gravas. Esta unidad, posee depósitos de materiales finos, loessicos, que yacen sobre las áreas serranas, que se consideran coetáneos a los depósitos gruesos del pie de sierra, se caracterizan por ser limos arenosos.

#### **Edad:**

Estos depósitos fueron asignados al Pleistoceno s. I. por Nullo (1981), criterio mantenido por Blasco et al. (1994), sin embargo, de acuerdo a las interpretaciones de carácter regional de Sayago (1999) se ubican en el Holoceno medio. En un análisis de correlación regional de los depósitos del primer nivel pedemontano, afectados por neotectónica, realizado por Eremchuk (1985), esta unidad sería equivalente a la Formación Tucumán de Bonaparte y Bobonikov (1974) y probablemente a la Formación Tafí del Valle de Collantes et al. (1993), unidades asignadas al Pleistoceno superior. A si mismo faltan elementos de juicio para establecer la edad con mayor precisión. Probablemente si se considerase una correlación de los loess con restos fósiles de la región y depósitos pedemontanos del Valle de Tafí descritos en Collantes (2001) con materiales similares que yacen en el Pto. La Cruz, Cuesta del Rodeo, en las cumbres de Ancasti, y en el bolsón de Catamarca, es posible que esta unidad se ubique entre el Pleistoceno superior - Holoceno inferior, atento a la evolución morfotectónica de las fallas principales de la sierra de Ancasti y los bloques orientales de la sierra de Ambato - Manchao. Esta hipótesis se refuerza con la existencia de bancos limosos con vidrio volcánico identificados por Merea Llanos (1981), al igual que Lafleur (1981) en las unidades equivalentes sobre el piedemonte occidental del Ambato – Manchao. Esto hace pensar que al menos hubo una sección de la unidad que se depositó contemporáneamente o inmediatamente después de determinados niveles de depósitos de carácter loésico.

### **1.3. Cuaternario - Holoceno**

#### **1.3.1. Formación Coneta**

La Formación Coneta, en el área de estudio, se desarrolla a partir de la desembocadura de los principales cursos de aguas que bajan de la Cumbre del Durazno, del río El Tala, arroyo San Lorenzo y los cursos de agua de la vertiente occidental de la Sierra de Fariñango. Los depósitos generados por El Tala son los de mayor importancia y donde históricamente se asentó la ciudad de Catamarca. ().

### **Litología:**

La característica de los depósitos es el predominio de fanglomerados en la parte media y apical de las geo formas, su parte distal corresponden a arenas finas limosas y limos arenosos. La fracción gruesa está compuesta por elementos provenientes de las rocas metamórficas del área de aporte; Formación La Cébila (Nullo 1981) cuencas al sur del río El Tala y Formación El Portezuelo (Aceñolaza y Toselli 1977), cuencas del faldeo oriental de la sierra del Colorado. Las observaciones de campo, muestran una estratificación tipo lenticular. La sedimentación es grano decreciente, desde tamaño de bloques en la zona en contacto con la montaña, hasta arenas finas y limos en los contactos con la depresión del Fariñango o sobre los depósitos del río del Valle. La composición de la fracción gruesa, gravas medias a gruesas y bloques de hasta 1,5 m en la zona de contacto con el tronco montañoso, corresponden a filitas, gneises, esquistos bandeados y rodados de migmatitas o migmatitas granitoides. Una de las características principales que la diferencian de los depósitos similares, del primer nivel y de los acarreos modernos, es la presencia de una pátina de carbonato de calcio en sus rodados, que no presentan alteración. La matriz varía entre arenosa a limosa también posee una pseudocementación de carbonato de calcio. En el área de estudio se identificó la sucesión correspondiente a la formación Coneta.

### **Edad:**

Nullo (1981) la asigna al Pleistoceno, pero Blasco et al. (1994) la ubica en el Holoceno y de acuerdo a la interpretación regional, por parte de Sayago (1999) como Holoceno medio. Al igual que la unidad anterior, no se tienen suficientes elementos para una mejor datación.

#### **1.3.2. Formación Paclín**

Los afloramientos de esta unidad en el Departamento Capital, corresponden a los depósitos de fondo de la depresión de la cuenca del Fariñango, que se extienden sobre los bordes serranos y hacia el sur continúan, en una franja, hasta la desembocadura del arroyo Fariñango en el río del Valle. Si se tiene en cuenta el área tipo en donde Merea Llanos (1981) describe esta unidad y su distribución espacial en el Valle de Catamarca, se interpreta que parte de estos depósitos fueron originados por la denudación de los bloques serranos de Graciana, Fariñango y estribaciones más bajas de la sierra del Colorado. Por otro lado, sobre el lado obsecuente del bloque Fariñango, se han generado depósitos fanglomerádicos gruesos por la acción de una serie de torrentes paralelos que erodan la escarpa de falla de dicha sierra. Estos depósitos son incorporados a esta unidad, considerando que se han formado coetáneamente con los sedimentos del lado consecuente de aquellos bloques serranos y son identificados como Formación Paclín (Merea Llanos 1981) (Foto 3).

### **Litología:**

En la zona de estudio, la litología varía entre sedimentos limosos en el centro de la depresión hasta arenas fina y limos arenosos hacia el borde de la sierra del Colorado, mientras que en contacto con la sierra de Fariñango se interdigitan en superficie con fanglomerados gruesos, compuestos de rodados predominantes de migmatitas y gneises bandeados. En contacto con la sierra del Colorado, sobre barrancas de más de 2 m, de



arroyos que cortan estos depósitos, puede observarse, por debajo de los limos o arenas limosas, la presencia de un fanglomerado grueso con matriz gravosa a arenosa. Situaciones semejantes se dan en los bordes de la depresión de Valle Viejo, fuera del área de estudio, lo que indicaría que esta unidad en contacto con el tronco montañoso, posee una sección lateral compuesta de fanglomerados finos con incorporación de grava gruesa en su matriz, que grada en forma transicional y se interdigita con sedimentos finos, limosos, en el fondo de la depresión. Los espesores visibles de esta unidad alcanzan a unos 2,90 m, en barrancas del arroyo Fariñango, sondeos con fines geotécnicos en el centro de la depresión a la latitud del arroyo la Gruta, alcanzaron los 3,60 m, Eremchuk et al. (1998).

#### **Edad:**

Merea Llanos (1981), Nullo (1981) y Blasco et al. (1994) han asignado al Holoceno s.l. a esta unidad. Desde el punto de vista de su génesis, es posible pensar que parte de ellos, sobre todo los que yacen en el centro de la depresión, a los que Fidalgo (1965) identificó claramente como "Limos parecidos a Loess" podrían ser más antiguos.

#### **Depósitos Fluviales**

Con esta denominación se agrupa a todos los materiales de transición ubicados en los lechos de los ríos (Tala - Ongolí, La Florida, Choya, San Lorenzo, Fariñango y río del Valle, especialmente a los emplazamientos axiales dentro del lecho de los ríos, en los tramos fuera del tronco montañoso. Sus componentes principales son arenas gruesas a finas, con intercalaciones grava fina, producto de la erosión del Basamento metamórfico del área serrana. Elementos más gruesos pueden encontrarse, especialmente después de los períodos de crecidas, producto de la erosión lateral de depósitos de la Formación Coneta, como ejemplo del afloramiento de este tipo lo encontramos en la lindera del dique el Jumeal o en el Río del Valle.



**Foto 2: Afloramiento de Formación Coneta en la zona norte del área de estudio, con una potencia de 3,50 m, 200 m al norte del área de estudios  
Coordenadas:(28°25'54.40"S - 65°45'25.11"O).**



**Foto 3: Afloramiento de Formación Paclín, 50 m al sur del área de estudio.  
Coordenadas: (28°26'44.86"S - 65°45'33.87"O).**



## CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO

---

## 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

El suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas sujetas a una organización definida y propiedades que varían vectorialmente. En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian más rápidamente que en la horizontal.

Si se tiene en cuenta la naturaleza y origen de las partículas minerales que constituyen el suelo se puede decir que provienen de procesos destructivos de las rocas. Se define así al “Suelo” como el resultado de las acciones que transforman y transportan las rocas cambiando el material en su aspecto, naturaleza y propiedades. Como estas acciones se producen a lo largo del tiempo, a veces extremadamente largo, se puede definir también al suelo como el resultado de la acción del tiempo. Por la intervención de los distintos agentes que obran sobre este material, sus características van variando con el mismo. Los productos que van resultando del ataque de los agentes del intemperismo pueden quedar directamente sobre la roca parental, dando origen a los llamados suelos residuales. Esos productos pueden ser removidos del lugar de formación por acción del agua, el viento, hielo u otros agentes y ser depositados en otro lugar, alejados de su lugar de origen, generando suelos que sobre yacen sobre otros estratos sin relación directa con ellos, a éstos se les denomina suelos transportados; afectados por el transporte en dos formas principales:

- Modifican la forma, el tamaño y la textura de las partículas por abrasión, desgaste, impacto y disolución.
- Produce una clasificación o graduación de las partículas que puede ser muy variada según el agente de transporte interviniente.

Dentro de los suelos que fueron transportados, como por ejemplo por el agua, dan lugar a los suelos aluviales, mereciendo éste un interés en particular para el proyecto.

**Suelos Aluviales:** Son aquellos que se han desarrollado con el paso del tiempo como resultado de los sedimentos depositados por las inundaciones periódicas de un río. Observando el cauce y en particular su altimetría desde las vertientes en lo alto de la montaña donde se forma, se observa, que el primer tramo es sumamente abrupto, escarpado con una elevada pendiente, luego se presenta un tramo de pendiente media y en la zona final al llegar a la llanura la pendiente es muy suave, casi nula, y se produce la sedimentación del material de arrastre. Los depósitos aluviales tienen variaciones importantes en la granulometría, son muy heterogéneos.

### 2.1. Tamaño y Forma de Partículas

El significado del “tamaño” depende de una dimensión medida y de la forma de medición, la determinación del tamaño de las partículas se hace por el análisis granulométrico a través del tamizado (para dimensiones superiores a las 74 micras) y por sedimentación en una suspensión acuosa (para las menores a 74 micras). El tamaño de las partículas varía desde la dimensión molecular ( $1 \times 10^{-6}$  mm) hasta los bloques de roca de varios metros de espesor. (Imagen 5).



A continuación, se presenta un cuadro con los nombres de estas partículas y los tamaños que les corresponden usualmente. Se da entre paréntesis otros valores límites de cada categoría también utilizados, ya que no hay uniformidad en estos límites.

PARTÍCULAS	TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS
BLOQUES	>30 cm
CANTOS RODADOS	15 A 30 cm
GRAVA	2 mm (o 4, 76 mm) a 15 cm
ARENA	0,06 mm (o 0,074 mm) a 2 mm (o 4,76 mm)
LIMO	0,002 mm (o 0,005 mm) a 0,06 mm (o 0,074 mm)
ARCILLAS	< 0,002 mm (o 0,005 mm)

*Imagen 5: Tamaño de las partículas de Suelo (Cimentaciones Superficiales, 2011).*

En general se reserva el nombre de suelos para los tamaños de grava y menores.

Los granos de un tamaño mayor de 0,06 mm pueden ser apreciados a simple vista o con auxilio de una lupa. Constituyen la “fracción muy gruesa” y la “fracción gruesa” de los suelos; los comprendidos entre 0,06 mm y 2 micras, que pueden ser examinados con ayuda del microscopio forman la “fracción fina” y los menores de 2 micras constituyen la “fracción muy fina”.

La mayoría de los suelos naturales contienen partículas de dos o más fracciones. Las características particulares de un suelo compuesto están principalmente determinadas por las propiedades de la fracción más fina.

**Las fracciones muy gruesas:** (gravas, por ejemplo) consisten en fragmentos de rocas compuestas por uno o más minerales. Pueden ser angulares, redondeados o chatos, ser sanos o mostrar signos de descomposición, ser resistentes o disgregables.

**Las fracciones gruesas:** (arenas) son generalmente granos de cuarzo. Los granos pueden ser angulares o redondeados. Algunas tienen un porcentaje importante de mica que las hace muy elásticas y esponjosas.

De acuerdo con la geometría que pueden presentar los granos de las arenas, al ser angulosos, sub angulosos, redondeados o sub redondeados se encuentra en relación con el grado de desgaste ocasionado por el rodaje y la abrasión. En general los granos angulosos indican que la arena ha estado expuesta al desgaste por un período corto de tiempo o nada en absoluto, como puede ocurrir con las arenas residuales que han permanecido siempre en

el lugar en que se formaron. Según su procedencia podemos tener, arenas de Río, de Mar, de Dunas y las de Cantera.

La arena es un material sin cohesión, aunque si esta mojada o húmeda la tensión superficial del agua puede darle una “cohesión aparente” la cual desaparece si el material se seca o se satura.

Las arenas constituyen un material de construcción favorable. Tiene excelente capacidad de soporte si está confinada. Sueltas, sobre todo si se trata de arenas medianas a finas son de dudoso comportamiento y malo, especialmente si están saturadas o sometidas a sub presiones.

**En las fracciones finas y muy finas:** (limos y arcillas) cada grano está constituido generalmente de un solo mineral. Las partículas pueden ser angulares o escamosas nunca redondeadas. En general el porcentaje de partículas escamosas aumenta a medida que decrece su tamaño.

Los limos son suelos cuyas partículas tienen tamaños comprendidos entre 2 a 5  $\mu$  como mínimo y de 0,06 a 0,074 mm como máximo. No es solamente el tamaño lo que identifica a los limos, sino su comportamiento, por ejemplo, en los limos inorgánicos se puede apreciar alguna cohesión o atracción entre partículas que a veces es solo aparente debido a la acción del agua que los humedece y mantiene unidos los granos por fenómenos de tensión superficial. Esta cohesión desaparece al secarse el suelo, a veces contienen un porcentaje apreciable de partículas de forma escamosa, semejante a las arcillas, y tienen algún efecto cohesivo. La presencia de esta cohesión o adhesividad entre partículas les da algo de plasticidad, pero en general es muy baja.

Los limos son suelos intermedios entre las arenas y las arcillas. Sus propiedades son también intermedias, pero en general podemos decir que su comportamiento es menos favorable que el de los otros suelos tanto como terreno de fundación, como para su tratamiento en compactación para terraplenes.

## 2.2. Propiedades Físicas del Suelo (William T. Lambe, 1997)

### 2.2.1. Relaciones Volumétricas:

El volumen de los sólidos en la masa de suelos se designa  $V_s$ , el volumen del agua  $V_w$  y el volumen del aire  $V_a$  (Fig. 8). El volumen total de la masa  $V$  incluye aire, agua y sólidos. A los espacios entre partículas sólidas que están ocupadas por el aire y el agua se les llama poros y vacíos y su volumen se designa por  $V_v$ .

### 2.2.2. Relaciones Gravimétricas:

La razón del peso del agua al peso de los sólidos se llama humedad (contenido de agua),  $w$ , y se expresa por la ecuación:

$$W\% = \frac{W_w - W_s}{W_s} \times 100$$

### 2.2.3. Pesos unitarios del suelo seco, húmedo y sumergido:

Es la relación entre el peso del suelo y el volumen total del suelo. En cada caso serán los pesos seco, húmedo y sumergido. El peso unitario  $\gamma$  es el peso por unidad de volumen, el peso unitario depende de:

- El peso de los granos individuales del suelo
- De la cantidad total de partículas de suelo presentes
- De la cantidad de agua existente en los vacíos

$$\gamma_h = \frac{W_h}{V_t} \text{ Peso unitario húmedo}$$

$$\gamma_s = \frac{W_{sec}}{V_t} \text{ Peso unitario seco o peso unitario natural}$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - 1 \text{ Peso unitario sumergido}$$

Por lo cual, el peso unitario sólo puede ser alterado cambiando la relación de vacíos y el contenido de humedad. Estrictamente, el peso unitario es un vector de estado y debería incluir la relación de vacíos y el contenido de humedad, sin embargo, salvo los calificativos de “húmedo y seco”, esto rara vez se hace.

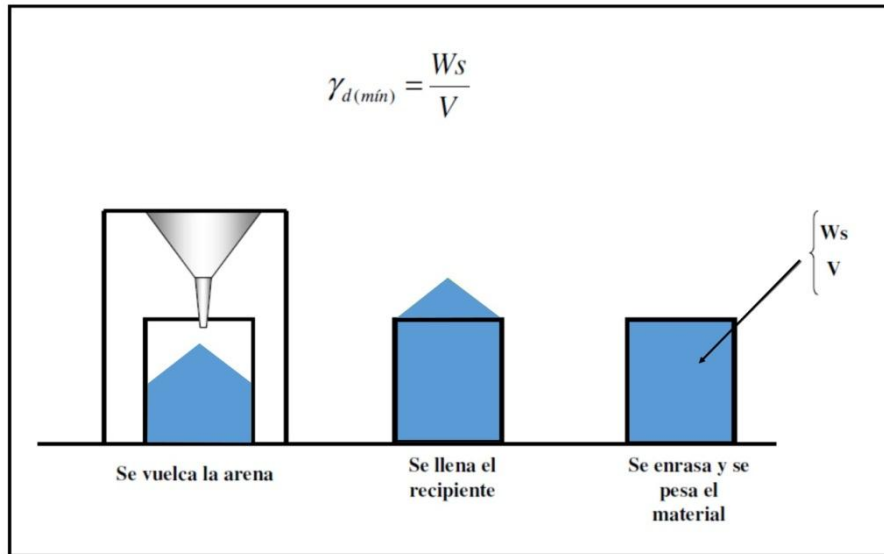
### 2.2.4. Peso Unitario, Natural y Suelto:

Peso unitario suelto, es la relación entre el peso del suelo en estado suelto y el volumen ocupado por el mismo. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

$$\gamma_{suelto} = \frac{w_{suelto}}{V_t}$$

Dónde:

- $\gamma_s$  = Peso unitario Suelto
- $V_t$  = Volumen total, corresponde al volumen del recipiente conocido



**Imagen 6: Procedimiento para determinar el peso unitario suelto de un suelo**  
(Leoni, 2010).

## 2.2.5. Estado de consistencia de los suelos amasados:

### Muestras Alteradas e Inalteradas

La compresibilidad, la resistencia al esfuerzo cortante, la permeabilidad, entre otras, son propiedades que dependen en gran medida de la estructura del suelo. Es por lo tanto, importante realizar las determinaciones de estas propiedades sobre muestras representativas del terreno y por ende, que mantengan la estructura lo menos alterada posible, precisamente a este tipo de muestras se las denomina “muestras inalteradas”.

Si estas muestras son desmenuzadas, obviamente se destruye su estructura y el comportamiento que tendrán luego de este proceso será consecuentemente distinto. Sin embargo, muchas características y propiedades físicas de los suelos, como la granulometría y la plasticidad son obtenidas necesariamente de muestras alteradas o amasadas.

Las “muestras alteradas o desmenuzadas”, pueden ser, luego, compactadas y es posible conseguir que el peso unitario seco, sea idéntico al que el suelo tenía en la naturaleza, pero no necesariamente su comportamiento mecánico (compresibilidad, resistencia, permeabilidad) será idéntico al del suelo inalterado, la estructura obtenida por compactación puede ser muy diferente a la original. A este tipo de muestras reconstituidas se las llama también “muestras compactadas”.

### Estados de Consistencia de los suelos:

Después que un suelo cohesivo ha sido mezclado con agua, su consistencia puede ser variada a voluntad, aumentando o disminuyendo su contenido de humedad. (Imagen 7).

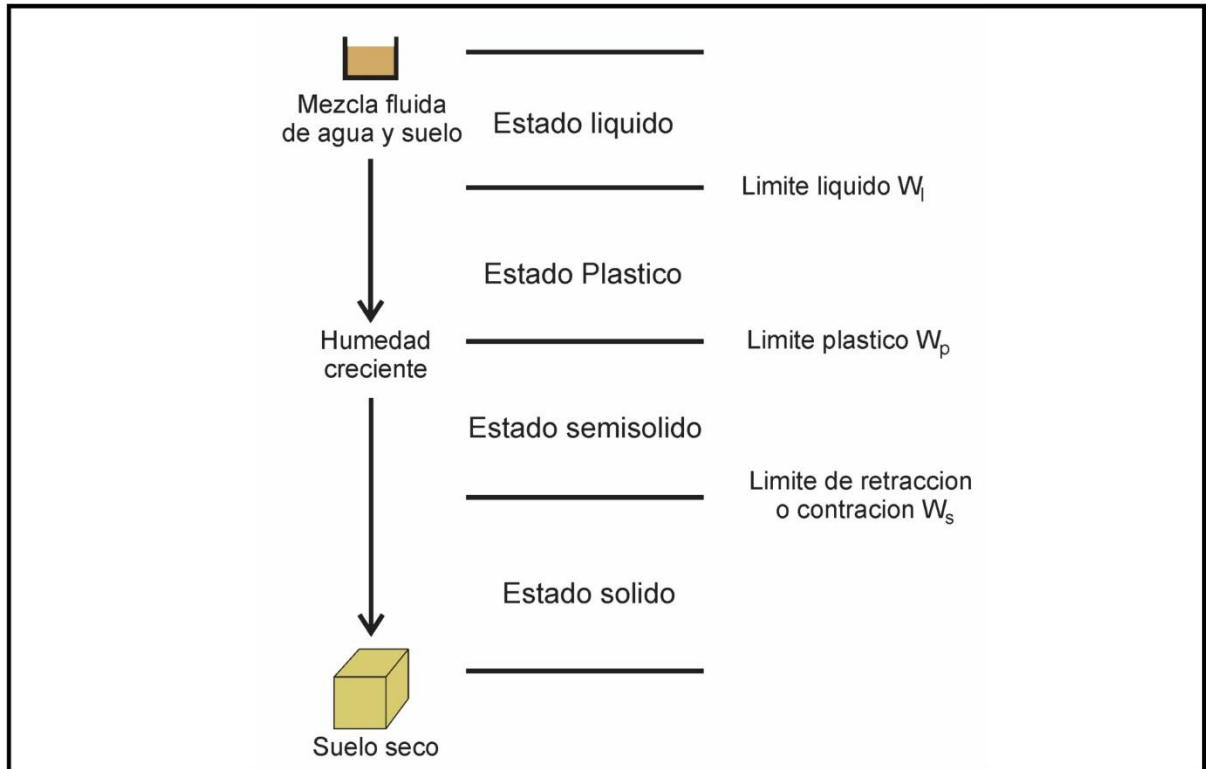


Imagen 7: Estados de consistencia de los suelos. Límites de Atterberg: ( $W_l$ ,  $W_p$ ,  $W_s$ ) (Celentano, 2012).

Así, por ejemplo, la mezcla suelo-agua puede presentar propiedades que le den comportamiento correspondiente al estado sólido, semisólido, plástico y líquido en función del contenido de agua que tenga.

1. Estado líquido, con las propiedades de un fluido viscoso
2. Estado plástico, en la que el suelo es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.
3. Estado semisólido, en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen si se sigue secando.
4. Estado sólido, en que el volumen del suelo ya no varía con el secado.

Los límites líquidos y plástico son en la actualidad, una de las determinaciones que con más frecuencia se practican en los laboratorios de Mecánica de Suelos. Su utilidad deriva de que, gracias a la experiencia acumulada de gran cantidad de determinaciones, es suficiente ahora conocer sus valores para poder dar una idea del tipo de suelo y sus propiedades.

Son determinaciones sencillas y rápidas, que permiten una pronta identificación de los suelos y la selección adecuada de muestras típicas para ser sometidas a ensayos más precisos. Pertenecen conjuntamente con el análisis granulométrico al grupo de ensayos de identificación.

### Límites de Consistencia o Límites de Atterberg

Para el establecimiento o determinación de las fronteras entre los distintos estados de consistencia de los suelos, no existen límites estrictos y precisos, por lo tanto, se establecen en forma puramente convencional. Atterberg lo hizo originalmente estableciendo las primeras convenciones, posteriormente Casagrande las refinó y les dio su forma actual (Foto 4).

**Límite Líquido:** (WL) es el contenido de humedad en % de peso de suelo seco para el cual dos secciones de una pasta de suelo, con las dimensiones indicadas en la que alcanzan a cerrarse sin mezclarse cuando la cazuela que los contiene es sometida al impacto de un número de golpes utilizando para ejecutarlo un aparato mecánico normalizado.

**Límite Plástico:** (WP) o límite inferior del estado plástico, es el contenido de humedad para el cual el suelo comienza a fracturarse, cuando es amasado en pequeños cilindros ( $\approx 3\text{mm}$ ), haciendo rolar la masa de suelo entre un dedo de la mano y una superficie lisa.

**Índice de Plasticidad:** (IP) los contenidos de humedad comprendidos entre los límites líquidos y plásticos se llaman contenidos de humedad de la Zona Plástica del suelo o entorno plástico y a la diferencia entre el límite líquido y límite plástico.

$$IP = WL - WP$$



Foto 4: Tasa de Casagrande, aparato para determinar el W.L. (Juarez Badillo, 1996)

### Método de Casagrande

El método más utilizado en laboratorio para determinar la consolidación es el de Casagrande, el cual consiste en colocar una mezcla homogénea de suelo con agua destilada en la tasa de Casagrande, con un acanalador se separa la muestra en dos mitades, se gira la manivela levantando y dejando caer la taza hasta que las paredes de la ranura entren en contacto en el fondo del surco. Se registrar el número de golpes requerido (N) (Imagen 8).

### Expresión de resultados

- Calcular y registrar la humedad de cada prueba (w).
- Determinar el límite líquido (L.L.) del suelo utilizando la siguiente tabla y utilizando la fórmula:

$$L.L = \frac{W}{DN}$$

S	DN	S	DN	S	DN
1	1,419000	11	1,106582	21	1,022334
2	1,328691	12	1,095245	22	1,016273
3	1,275863	13	1,084817	23	1,010481
4	1,238382	14	1,075161	24	1,004936
5	1,209309	15	1,066172	25	0,999618
6	1,185554	16	1,057764	26	0,994508
7	1,654700	17	1,049865	27	0,989591
8	1,148073	18	1,042418	28	0,984853
9	1,132727	19	1,035374	29	0,980281
10	1,119000	20	1,028691	30	0,975864

**Imagen 8: Factor de corrección según el N° de golpes para Límite Líquido; S: N° de golpes y DN valor adimensional (Juarez Badillo, 1996).**



### Expresión de resultados

El límite plástico (L.P) del suelo está dado por la siguiente formula:

$$L.P = \frac{P1 - P2}{P2 - Pt} \times 100$$

**Dónde:**

- **L.P**= límite plástico
- **P1**= peso de la pesa filtro más el suelo húmedo.
- **P2**= peso de la pesa filtro más el suelo seco.
- **Pt**= peso de la pesa filtro vacío.

El índice plástico (I.P) del suelo está dado por la siguiente fórmula:

$$I.P = L.L - L.P$$

**Dónde:**

- **I.P.**= índice de plasticidad del suelo, %
- **L.L.** = límite líquido del suelo, %.
- **L.P.** = límite plástico del suelo, %.

Cuando no pueda determinarse uno de los dos límites (L.L. ó L.P) o la diferencia es negativo, informar el índice de plasticidad como N.P. (no plástico).

### 2.3. Granulometría de los suelos

Se denomina *granulometría*, a la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica. (Imagen 9).

Actualmente de acuerdo con los conocimientos modernos, las propiedades mecánicas de los suelos solo dependen hasta cierto punto de la distribución granulométrica que presente, pero muchas veces, sobre todo en suelos finos, hay otros factores que resultan más determinantes en el comportamiento de las partículas, que su tamaño. Los suelos gruesos con una amplia gama de tamaños (bien graduados) se compactan mejor, para una misma energía de compactación que los suelos muy uniformes (mal graduados). Con el vibrado, las partículas más chicas pueden acomodarse en los huecos entre las partículas más grandes, adquiriendo el conjunto una mayor compacidad.



### ESCALA GRANULOMÉTRICA

Partícula	Tamaño
Arcillas	< 0,002 mm
Limos	0,002-0,06 mm
Arenas	0,06-2 mm
Gravas	2-60 mm
Cantos rodados	60-250 mm
Bloques	>250 m

*Imagen 9: Escala Granulométrica (Juarez Badillo, 1996).*

**Tamizado:** el propósito del análisis granulométrico es determinar la distribución de los distintos tamaños, en su porcentaje de peso respecto al total. El método más directo para separar un suelo granular en fracciones de distinto tamaño consiste en el uso de tamices. Las partículas de menor tamaño pasan por los poros del tamiz atravesándolo y las de mayor tamaño quedan retenidas por el mismo.

La muestra de suelo se hace pasar sucesivamente a través de un juego de tamices de aberturas descendentes, de una serie standard. Los retenidos en cada malla se pesan, y el porcentaje que representan respecto al peso de la muestra total se suma a los porcentajes retenidos en las mallas de mayor tamaño; el complemento al 100% es el porcentaje de suelo que es el diámetro menor que el tamaño representado por la malla en cuestión.

Los tamices generalmente empleados son los que corresponden a las Normas A.S.T.M. (American Society for Testing Materials). El número del tamiz indica el número de mallas por pulgada lineal, la abertura llega a ser tan fina que a pesar de ser muy finos los hilos de cobre que la forman, la sección en los tamices N° 100 y N° 200 obliga a recurrir al lavado con agua para asegurar el paso del suelo a través de ellas. Para separar las arenas se utilizan los tamices N°4, N°10, N°20, N°40 y N°200. El tamiz N° 4 y N° 10 retiene arenas gruesas el N°20 y N°40 retiene arenas medias y el tamiz N°200 retiene arenas finas. (Imagen 10).

Tamiz (ATSM)	Tamiz (nch) (mm.)	Tamiz real (mm.)	Tipo de Suelo
3"	80	76,12	GRAVA
2"	50	50,8	
1 1/2"	40	38,1	
1"	25	25,4	
3/4"	20	19,05	
3/8"	10	9,52	
N° 4	5	4,76	ARENA GRUESA
N° 10	2	2	ARENA MEDIA
N° 200	0,9	0,84	
N° 40	0,5	0,42	
N° 60	0,3	0,25	ARENA FINA
N° 120	0,1	0,105	
N° 200	0,08	0,074	

**Imagen 10: Tabla de numeración y abertura de tamices  
(Juarez Badillo, 1996).**

La menor dimensión de las mallas (0,074 mm) corresponde a las arenas muy finas, de modo que este método de análisis granulométrico no es apto para limos y arcillas; para el estudio de estas partículas más finas, se separa el suelo en dos partes por lavado sobre el tamiz N°200. La parte retenida es sometida a tamizado, y la más fina es analizada por vía húmeda mediante métodos basados en la sedimentación (Imagen 11 y Imagen 12).

El juego de tamices que permiten un espaciamiento uniforme en la curva granulométrica es el siguiente:



Imagen 11: Juego de tamices de mayor a menor diámetro (izquierda), se separan fracciones de grava, arena y arcilla que constituyen una porción de suelo (derecha) (Wikipedia).

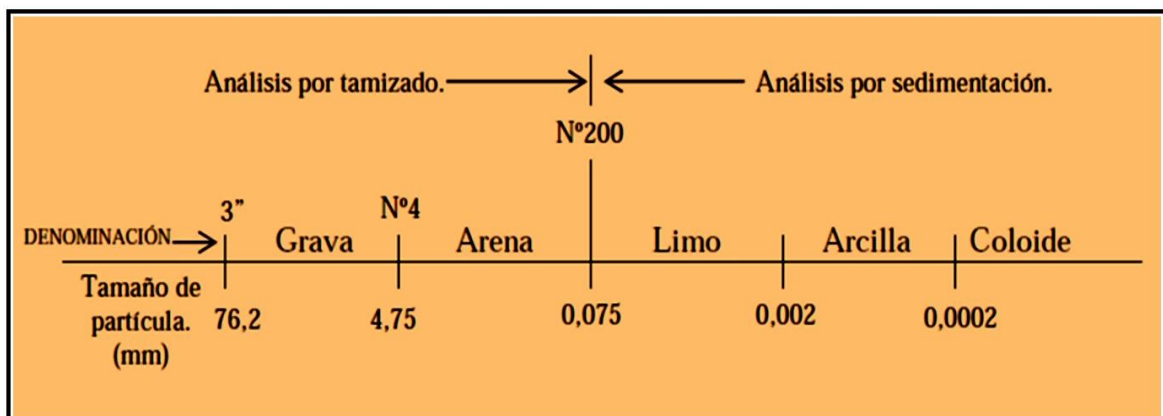
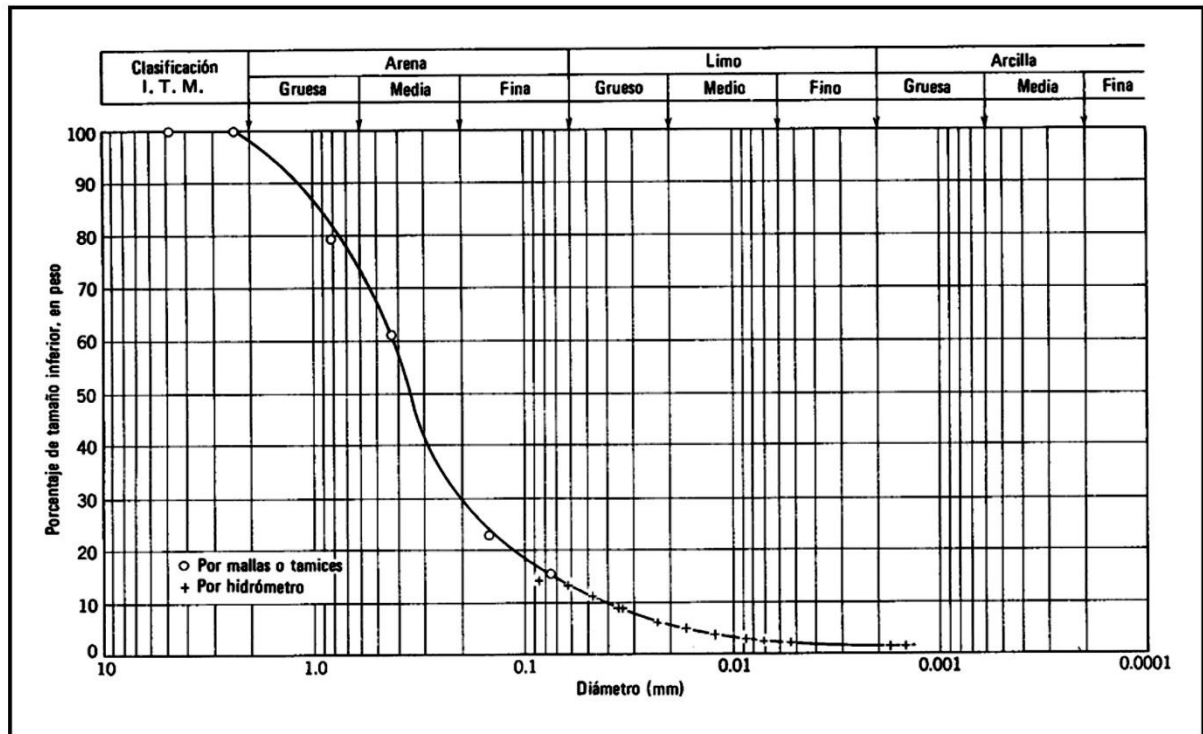


Imagen 12: Relación entre el método por tamizado para las partículas de tamaño mayor a 0,075mm y el método por sedimentación para las partículas de tamaño menor a los 0,075mm (Wikipedia).

**Curva Granulométrica:** la curva representativa de la granulometría suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaño de partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren a porcentajes en peso de las partículas menores que el tamaño correspondiente. La representación en escala logarítmica (eje de abscisas en escala logarítmica) resulta preferible a la simple representación natural, en aquella se dispone de mayor amplitud en los tamaños finos y muy finos, que en escala natural resultan muy comprimidos, si se usa una escala práctica.

La forma de la curva da una idea de la distribución granulométrica del suelo: un suelo constituido por un solo tamaño estará representado por una línea vertical (el 100% de sus partículas, en peso, corresponde a un solo tamaño). Una curva muy tendida indica gran variedad de tamaños (suelo bien graduado) Imagen 13.



**Imagen 13: Curva granulométrica en escala logarítmica, para un suelo bien graduado.**  
(Juarez Badillo, 1996).

Como una medida simple de una Uniformidad de un suelo, Allen Hazen propuso el *Coefficiente de Uniformidad*, en donde  $D_{60}$ , tamaño tal que el 60% en peso del suelo sea igual o menor; y  $D_{10}$ , llamado diámetro efectivo es el tamaño tal que el 10% en peso del suelo sea igual o menor.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

El coeficiente de uniformidad decrece cuando la uniformidad aumenta.

Los suelos con  $Cu < 3$  se consideran muy uniformes. Como un dato complementario para definir la uniformidad, se define el Coeficiente de Curvatura, con la expresión:

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

Esta relación tiene un valor entre 1 y 3 en suelos bien graduados. Y se definen  $D_{30}$ ,  $D_{60}$  y  $D_{10}$  leyendo el diámetro de las aberturas, a partir de la curva granulométrica.

La forma de la curva granulométrica puede ayudar a la determinación del origen geológico de un suelo y reducir el riesgo de errores en la interpretación de los datos obtenidos en las perforaciones.

### 2.3.1. Cálculos:

Los pesos se obtienen de restar el peso total de la muestra menos el retenido en el tamiz de mayor abertura así se obtiene el material liberado por ese tamiz, se sigue de esta forma por restas sucesivas hasta el tamiz N°4.

Los porcentajes pasantes se calculan dividiendo cada uno de los pesos librados en el peso total por 100, luego se calcula para los tamices siguientes a partir del porcentaje librado en éste y por regla de tres simple de acuerdo al peso de material utilizado para esta operación.

### 2.3.2. Representación Gráfica:

La representación gráfica de los resultados se hace en planillas de escala logarítmica (eje de abscisas en escala logarítmica), indican las abscisas el logaritmo de las aberturas de los tamices y en ordenadas están representados los porcentajes librados por cada tamiz en escala aritmética. Se une con un trazo continuo los puntos de intersección y se obtiene la curva granulométrica del material estudiado.

## 2.4. Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification System- USCS)

Es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. El sistema, originalmente desarrollado para uso en la construcción de aeropistas, fue divulgado por Casagrande en 1948. Había estado ya en uso desde 1942, pero fue ligeramente modificado en 1952 para hacerlo aplicable a presas y a otras construcciones. (Imagen 14 y Imagen 15).

El símbolo que clasifica el suelo está formado por dos letras mayúsculas, la primera indica el tipo de suelo y la segunda una propiedad cuyo significado se especifica en la siguiente tabla. Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado u otros.



<b>CLASIFICACION DE SUELOS</b>			
<b>PRIMERA LETRA</b>		<b>SEGUNDA LETRA</b>	
<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>	<b>Letra</b>	<b>Definición</b>
<b>G</b>	<b>grava</b>	<b>P</b>	<b>pobrementemente graduado (tamaño de partícula uniforme)</b>
<b>S</b>	<b>arena</b>	<b>W</b>	<b>bien graduado (tamaños de partícula diversos)</b>
<b>M</b>	<b>limo</b>	<b>H</b>	<b>alta plasticidad</b>
<b>C</b>	<b>arcilla</b>	<b>L</b>	<b>baja plasticidad</b>
<b>O</b>	<b>orgánico</b>		

*Imagen 14: Clasificación Unificada de suelos (Wikipedia).*

### TABLA DE CLASIFICACIÓN

DIVISIONES MAYORES			Símbolo del grupo	Nombre del grupo		
<b>Suelos granulares gruesos</b> más del 50% retenido en el tamiz- T/200 (0.075 mm)	<b>Grava</b> > 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz nº4 (4.75 mm)	grava limpia menos del 5% pasa el tamiz nº200	<b>GW</b>	grava bien graduada, grava fina a gruesa		
			<b>GP</b>	grava pobremente graduada		
		grava con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200	<b>GM</b>	grava limosa		
			<b>GC</b>	grava arcillosa		
	<b>Arena</b> ≥ 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz nº4	Arena limpia	<b>SW</b>	Arena bien graduada, arena fina a gruesa.		
			<b>SP</b>	Arena pobremente graduada		
		Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200	<b>SM</b>	Arena limosa		
			<b>SC</b>	Arena arcillosa		
		<b>Suelos de grano fino</b> más del 50% pasa el tamiz- T/200	<b>Limos y arcillas</b> límite líquido < 50	inorgánico	<b>ML</b>	limo
					<b>CL</b>	arcilla
orgánico	<b>OL</b>			Limo orgánico, arcilla orgánica		
<b>Limos y arcillas</b> límite líquido ≥ 50	inorgánico		<b>MH</b>	limo de alta plasticidad, limo elástico		
			<b>CH</b>	Arcilla de alta plasticidad		
	orgánico		<b>OH</b>	Arcilla orgánica,		

Imagen 15: Sistema de Clasificación de Suelos (Wikipedia).

### 2.4.1. Suelos Gruesos

- Gravas y suelos en que predominen éstas. Símbolo genético **G**
- Arenas y suelos arenosos. Símbolo genético **S**

Las gravas y las arenas se separan con el tamiz N°4, de manera que un suelo pertenece al grupo genético G, si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en el tamiz N° 200) no pasa el tamiz N° 4, y es del grupo genético S, en caso contrario.

Las gravas y las arenas se subdividen en cuatro tipos:

1. Material prácticamente limpio de finos, bien graduado. Símbolo *W*, en combinación con los símbolos genéticos, se obtienen los grupos *GW* y *SW*.
2. Material prácticamente limpio de finos, mal graduado. Símbolo *P* en combinación con los símbolos genéticos, da lugar a los grupos *GP* y *SP*.
3. Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo *M*, en combinación con los símbolos genéticos, da lugar a los grupos *GM* y *SM*.
4. Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo *C*, en combinación con los símbolos genéticos, da lugar a los grupos *GC* y *SC*.

#### Grupos *GW* y *SW*

Estos suelos son bien graduados y con pocos finos o limpios por completo. La presencia de los finos que puedan contener estos grupos no debe producir cambios apreciables en las características de resistencia de la fracción gruesa, ni interferir con su capacidad de drenaje. La graduación se juzga en el laboratorio, por medio de los coeficientes de uniformidad y curvatura; para considerar una grava bien graduada se exige que su coeficiente de uniformidad sea mayor que 4, mientras que el de curvatura debe estar comprendido entre 1 y 3. En el caso de las arenas bien graduadas, el coeficiente de uniformidad será mayor que 6 en tanto el de curvatura debe estar entre los mismos límites anteriores.

#### Grupos *GP* y *SP*

Estos suelos son mal graduados, es decir, son de apariencia uniforme o presentan predominio de un tamaño o de un margen de tamaños, faltando algunos intermedios; en laboratorio debe satisfacer los requisitos señalados para los dos grupos anteriores, en lo referente al contenido de partículas finas, pero no cumplen los requisitos de graduación para su consideración como bien graduados. Dentro de esos grupos están comprendidas las gravas uniformes tales como las que se depositan en los lechos de los ríos, las arenas uniformes de médanos y playas y, las mezclas de grava y arenas finas provenientes de estratos diferentes obtenidas durante un proceso de excavación.

#### Grupos *GM* y *SM*

En estos grupos el contenido de finos afecta las características de resistencia y esfuerzo-deformación y la capacidad de drenaje libre de la fracción gruesa, en la práctica se ha visto que esto ocurre para porcentajes de finos superiores de 12% en peso, por lo que esa cantidad se toma como frontera inferior de dicho contenido de partículas finas. La plasticidad de los finos en estos grupos varía entre “nula” y “media”, es decir, es requisito que los límites de plasticidad localicen a la fracción que pase la malla N° 40 abajo de la línea A o bien que su índice de plasticidad sea menor que 4.

### Grupos GC y SC

Como antes, el contenido de finos de estos grupos de suelos debe ser mayor que 12% en peso, y por las mismas razones expuestas para los grupos GM y SM. Sin embargo en estos casos, los finos son de media a alta plasticidad, es ahora requisito que los límites de plasticidad sitúen a la fracción que pase la malla N° 40 sobre la línea A, además de que el Índice plástico sea mayor que 7.

Casos de frontera: a los suelos gruesos con contenido de finos comprendido entre 5% y 12%, en peso, el Sistema Unificado los considera casos de frontera, adjudicándoles un símbolo doble. Por ejemplo, un símbolo **GP-GC** indica una grava mal graduada, con un contenido entre 5% y 12% de finos plásticos (arcillosos).

### 2.4.2. Suelos Finos

- Limos inorgánicos, de Símbolo Genético **M**
- Arcilla inorgánica, de Símbolo Genético **C**
- Limos y arcillas orgánicas, de Símbolo Genético **O**

Cada uno de estos tres tipos de suelo se subdivide, según su límite líquido en dos grupos. Si éste es menor de 50%, es decir, si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade al símbolo genético la letra L, obteniéndose por ésta combinación los grupos **ML**, **CL** y **OL**. Los suelos finos con límite líquido mayor a 50%, o sea de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genético la letra H, teniéndose así los grupos **MH**, **CH** y **OH**. Ha de notarse que las letras L y H no se refieren a baja o alta plasticidad, esta propiedad del suelo, como ya se ha dicho, se expresa en función de dos parámetros ( $W_L$  e  $I_p$ ) mientras que este caso solo el valor del límite líquido interviene. Por otra parte, ya se hizo notar que la compresibilidad de un suelo es mayor a mayor límite líquido.

### Grupos CL y CH

En estos dos grupos se ubican las arcillas inorgánicas. El grupo CL comprende a la zona por encima de la línea A, definida por  $W_L < 50\%$  e  $I_p > 7\%$ . El grupo CH corresponde a la zona arriba de la línea A, definida por  $W_L > 50\%$ . Las arcillas formadas por descomposición química de cenizas volcánicas, tales como la bentonita, con límites líquidos de hasta 500%, se encuentran en el grupo CH.

### Grupos ML y MH

El grupo ML corresponde a la zona bajo la línea A, definida por  $W_L < 50\%$  y la porción sobre la línea A con  $I_p < 4$ . El grupo MH corresponde a la zona debajo de la línea A, definida por  $W_L > 50\%$ . En estos grupos quedan comprendidos los limos típicos inorgánicos y limos arcillosos. Los tipos comunes de limos inorgánicos y polvo de roca, con  $W_L < 30\%$ , se localizan en el grupo ML. Los depósitos eólicos, del tipo loess, con  $25\% < W_L < 35\%$  usualmente, caen también en este grupo. Casos fronteros: en algunas ocasiones estas arcillas caen en casos frontera ML-CL y MH-CH, dada su proximidad con dicha línea. Los suelos finos que caen sobre la línea A y con  $4\% < I_p < 7\%$  se consideran como casos de frontera, asignándoles símbolo doble CL- ML.

### 2.4.3. Carta de Plasticidad

La carta de plasticidad usada en la Clasificación Unificada de suelos deriva de lo descrito en la Clasificación efectuada para Aeropuertos por el Dr. Casagrande.

En esta carta se observa el comportamiento de los suelos finos de acuerdo a sus propiedades plásticas  $W_L$  e  $I_P$ .

Los suelos de comportamientos arcillosos se agrupan en una zona de la carta definida. Los limos menos plásticos ( $I_P$  más bajo para igual  $W_L$ ) se sitúan en otra zona por debajo de las arcillas, pero siempre dentro de un entorno perfectamente delimitado. Estos dos sectores fueron definidos por medio de un grupo importante de suelos a los que se les efectuaron ensayos de granulometría y de identificación de campo para determinar su comportamiento e identificar el suelo por su comportamiento como limo o arcilla y ensayos de laboratorio de  $W_L$  e  $I_P$  para colocarlo en la carta. Con estos ensayos se obtuvo una línea divisoria de estas dos zonas que tiene una ecuación  $I_P = 0,73 (W_L - 20)$  comúnmente llamada línea A. Durante el proceso de identificación de los suelos se observó, si los suelos tenían alta, media o baja compresibilidad, pudiendo observarse que los suelos de alta compresibilidad tienen un  $W_L$  superior a 50 y los de baja o media compresibilidad el  $W_L$  es inferior a esta línea que pasa por  $W_L = 50$ , se llama línea B.

### 2.4.4. Ensayos In Situ para determinar Capacidad de Carga

**Ensayos más comunes:**

- Ensayos de Penetración Estática
- Ensayos de Penetración dinámica
- Ensayos Presi métricos
- Ensayos de la Veleta o de molinete
- Ensayos de Carga Directa

Mencionaremos dentro de los ensayos de penetración dinámica, el “Ensayo de Penetración Standard” (S.P.T.), utilizado en este estudio.

#### **Ensayos de Penetración Dinámica**

Son los más sencillos y antiguos consisten en hincar un tubo metálico en el terreno mediante la caída libre de una masa, pueden tener puntos de mayor diámetro que las barras pérdidas o recuperables u otros elementos como saca muestras, en algunos casos se realizan en el fondo de las perforaciones y en otros desde la superficie hincada en forma continua. En este grupo desarrollaremos el Ensayo de Penetración Standard (S.P.T.).

### 2.4.5. Ensayo de Penetración Standard, S.P.T.

Terzaghi ideó un sacatestigo estándar o penetrómetro en forma tal que al tiempo que extraía muestras del suelo, obtenía una idea de su resistencia a la penetración por el número de golpes necesario para hundirlo en una cierta profundidad.



Consiste en contar el número de golpes necesarios para que se introduzca a una determinada profundidad una cuchara, (cilíndrica y hueca) diámetro exterior 51 mm e interior de 35 mm, que permite tomar una muestra naturalmente alterada en su interior. El pisón para la hincas tiene un peso de 140 libras (63,5 kg) éste es lanzado desde una altura de 30 pulgadas (76,2 cm) y se miden los golpes para que la cuchara penetre 12 pulgadas (30 cm) en el terreno virgen (Imagen 16 y Imagen 17).

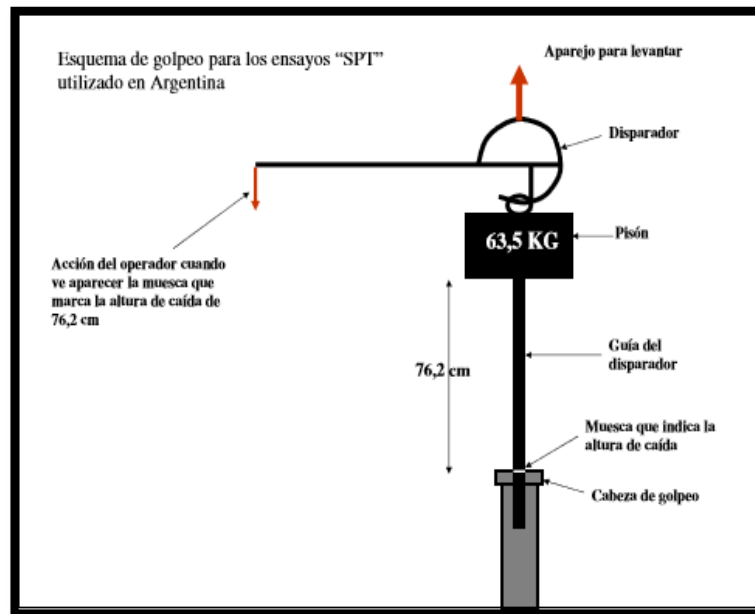


Imagen 16: Se observan las partes del dispositivo de penetración estándar de Terzaghi con el esquema de golpeo usado en el ensayo (Leoni, 2010).

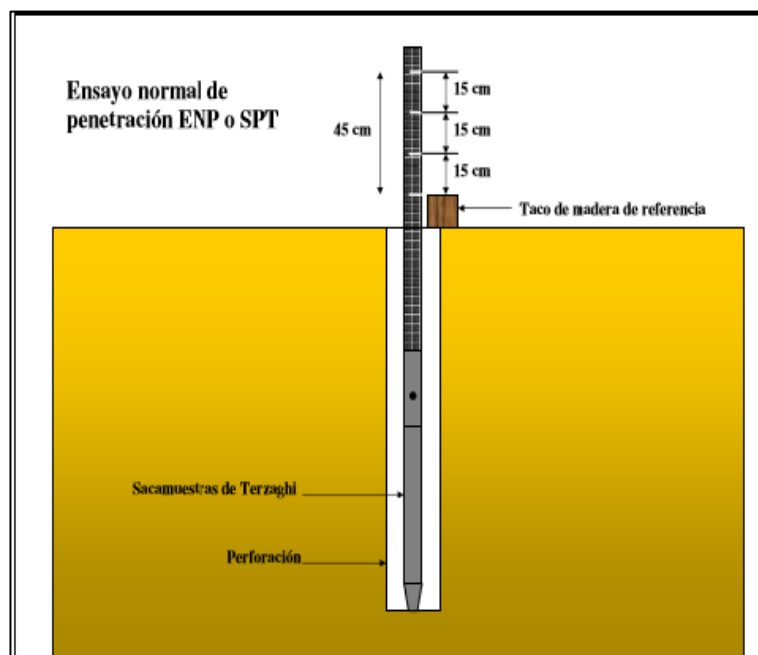


Imagen 17: Ensayo S.P.T. en un sondeo de exploración para determinar la Capacidad de Carga del terreno (Leoni, 2010).

### Descripción del Ensayo:

Una vez que en la perforación del sondeo ha alcanzado la profundidad donde se realizará la prueba (sin avanzar la entubación y con el fondo del sondeo limpio) se introduce el muestreador S.P.T. unido al varillaje hasta apoyarlo suavemente en el fondo. Realizada esta operación, se eleva repetidamente el pisón con una frecuencia constante, dejándolo caer libremente sobre una sufridera que se coloca en la zona superior del varillaje (cabeza de golpeo). Se contabiliza y se anota el número de golpes necesarios para hincar la cuchara los primeros 15 cm ( $N_0 - 15$ ), esto se hace debido a que al efectuar la perforación se suele perturbar el terreno por lo que se introduce primero 15 cm el saca testigo, contando el número de golpes solo como control. Posteriormente, ya en condiciones normales, en suelo no perturbado se realiza la prueba en sí, introduciendo otros 30 cm y anotando el número de golpes requerido para la hincada en cada intervalo de 15 cm de penetración (Imagen 18).

El resultado del ensayo es el **golpeo S.P.T.** o **resistencia a la penetración estándar:**

$$N_{SPT} = N_{15-30} + N_{30-45}$$

Si el número de golpes necesario para profundizar en cualquiera de estos intervalos de 15 cm es superior a 50, el resultado del ensayo deja de ser la suma anteriormente indicada, para convertirse en *rechazo (R)*, debiéndose anotar también la longitud hincada en el tramo en el que se han alcanzado los 50 golpes. El ensayo S.P.T. en este punto se considera finalizado al alcanzar este valor (Imagen 19).

Más que por el valor de las tensiones admisibles que puede suministrar, es valioso su empleo por el conocimiento que nos da acerca de la resistencia relativa de los distintos estratos del perfil, y porque junto con la resistencia a la penetración nos trae la muestra del suelo, con la cual podemos identificar la naturaleza del material ensayado.

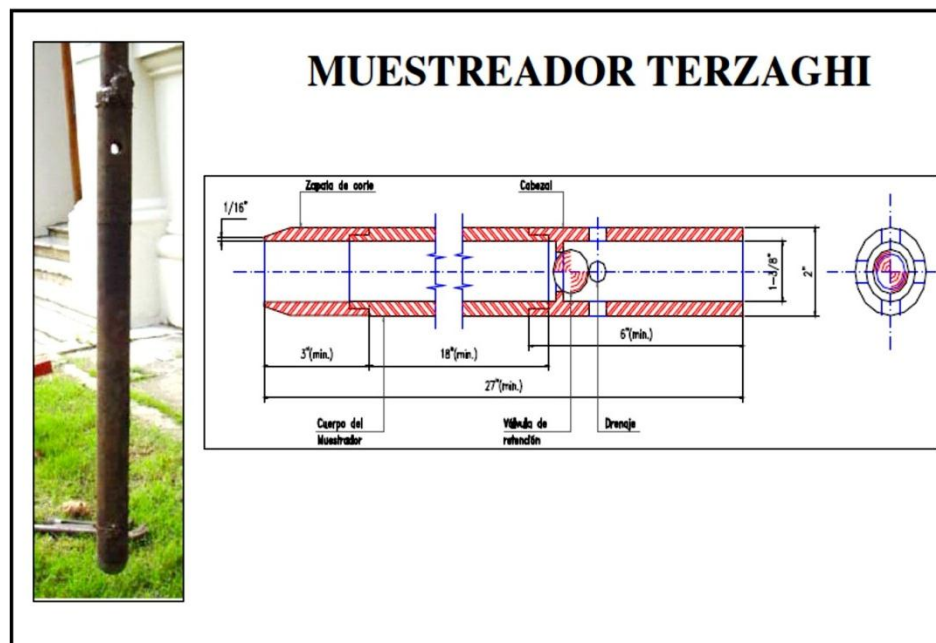


Imagen 18: Muestreador Terzaghi (Leoni, 2010).

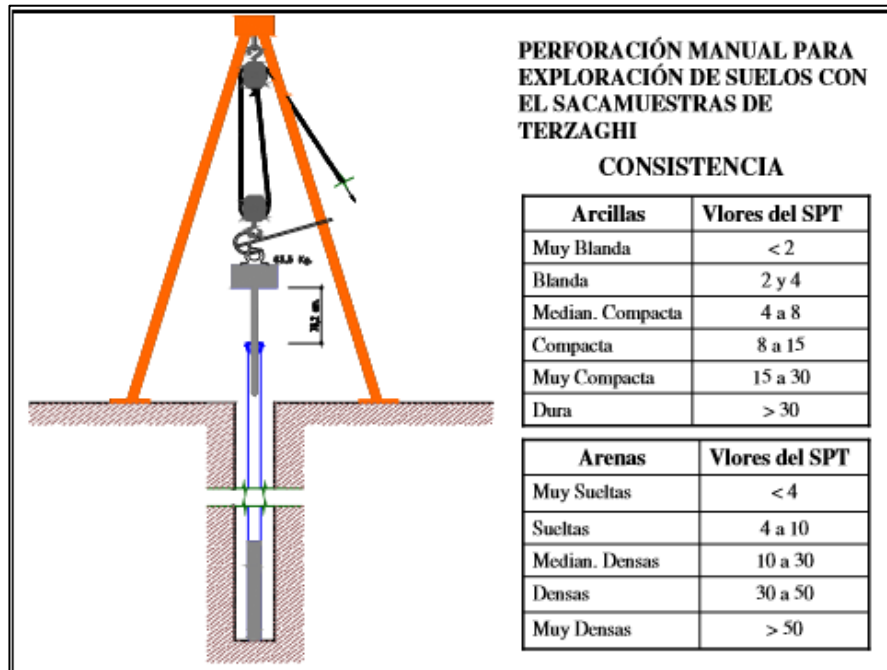


Imagen 19: Valores de Consistencia para limos y arenas (Leoni, 2010).

**ENSAYO DE SPT Y ANGULO DE FRICCION INTERNA**

	$\phi' = 20^\circ + (0,45.Nc)$
(Peck)	$\phi' = 28,5^\circ + (0,40.Nc)$
(Kishida)	$\phi' = 15^\circ + \sqrt{18.Nc}$
(Hatanaka – Uchida)	$\phi' = 20^\circ + \sqrt{15,4.Nc}$
(Muromachi 1974)	$\phi' = 20^\circ + 3,5\sqrt{.Nc}$
(Schmertmann)	$\phi' = \text{Arc tan} \left[ \frac{Nc}{27} \right]^{0,34}$
(Peck Hanson Thornburn)	$\phi' = 26,25 \times \left[ 2 - e^{-\frac{Nc}{39}} \right]$
(Japan National Railway)	$\phi' = 27^\circ + (0,30.Nc)$
(Japan Road Boreau)	$\phi' = 15^\circ + \sqrt{(15.Nc)}$

Imagen 20: Fórmula de Kishida, propuesta por A. Leoni para el cálculo del ángulo de fricción interna (Leoni, 2010).

#### 2.4.6. Ensayo de Compresión Simple:

- La resistencia a la presión no confinada ( $\sigma$ ) de un suelo que se encuentra bajo condiciones inalteradas, utilizando el método de deformación controlada.
- La cohesión del suelo en estudio.

El ensayo de compresión simple se realiza con el fin de determinar la resistencia o esfuerzo último de un suelo cohesivo a la compresión no confinada, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación y utilizando una muestra de suelo inalterada tallada en forma de cilindro. Esta prueba tiene la ventaja de ser de fácil realización y de exigir equipo relativamente sencillo en comparación con las pruebas triaxiales (en caso de estudiar a fondo los mecanismos de falla que tienen lugar) y los resultados de la prueba son de fácil aplicación a los trabajos de rutina.

Es importante comprender el comportamiento de los suelos sometidos a cargas, ya que es en ellos o sobre ellos que se van a fundar las estructuras ya sean puentes, edificios o carreteras, que requieren de una base firme, o más aún que pueden aprovechar las resistencias del suelo en beneficio de su propia capacidad y estabilidad, siendo el estudio y la experimentación las herramientas para conseguirlo y finalmente poder predecir, con una cierta aproximación, el comportamiento ante las cargas de estas estructuras.

#### Equipo de Compresión Simple:

Tiene la finalidad de determinar la resistencia a la compresión no confinada ( $q_u$ ) de un cilindro de suelo cohesivo o semi-cohesivo e indirectamente la resistencia al corte ( $q_c$ ) mediante la expresión:

$$q_c = \frac{q_u}{2} \left( \frac{kg}{cm^2} \right)$$

Este cálculo se basa en el hecho de que el esfuerzo principal menor es cero (ya que al suelo lo rodea sólo la presión atmosférica) y el ángulo de fricción interna  $\phi$  del suelo se supone cero. El ensayo de compresión simple resulta un caso especial del ensayo Triaxial, en el cual solamente se le aplica a la probeta una tensión longitudinal y no es necesario el dispositivo para aplicar la presión lateral, además la muestra no necesita estar envuelta en una membrana de caucho, éste ensayo se ha convertido en un ensayo sencillo de campo.

El ensayo se puede realizar de dos maneras, mediante un control de deformación o bien mediante un control de esfuerzos. El primero, es ampliamente utilizado controlando la velocidad de avance de la plataforma del equipo, como se observa en la figura 32. El segundo, requiere ir realizando incrementos de carga, lo que puede causar errores en las deformaciones unitarias al producirse una carga adicional de impacto al aumentar la carga, por lo que resulta prácticamente nula su utilización.

Como es un ensayo útil para suelos predominantemente arcillosos, según el valor de la resistencia máxima a compresión un axial, una arcilla se puede clasificar del modo que se indica a continuación (Terzaghi y Peck, 1955) (Imagen 21).

CONSISTENCIA	CARGA ÚLTIMA (kg/cm <sup>2</sup> )
Muy Blanda	< 0,25
Blanda	0,25- 0,50
Media	0,50- 1,00
Firme	1,00- 2,00
Muy Firme	2,00- 4,00
Dura	> 4,00

*Imagen 21: Valores de consistencia (Celentano, 2012)*

También se presenta la siguiente tabla donde se dan algunos valores referenciales de la cohesión según el tipo de suelo (Imagen 22).

TIPO DE SUELO	COHESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
Arcilla rígida	0.25
Arcilla semi-rígida	0.1
Arcilla Blanda	0.01
Arcilla Arenosa	0.05
Limo rígido o duro	0.02

*Imagen 22: Valores de cohesión. (Celentano, 2012)*



## Equipo de Compresión Simple

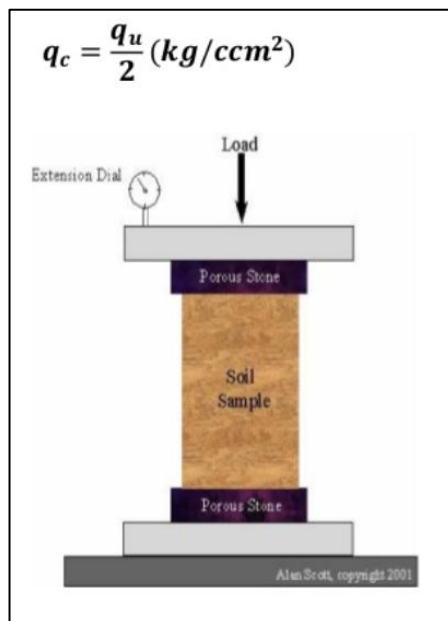


Imagen 23: Equipo de compresión simple (Universidad Nacional del Altiplano)

## Cálculos

Para la deformación unitaria:

$$\varepsilon = \Delta L / L_0$$

**Dónde:**

- $\Delta L$  = cambio de longitud de la muestra con respecto a la inicial.
- $L_0$  = longitud inicial.

Para el área final de la muestra

$$A = A_0 / (1 - \varepsilon)$$

**Dónde:**

- $A$  = área de la muestra,
- $A_0$  = área inicial de la muestra
- $\varepsilon$  = deformación unitaria de la muestra.

Para la carga actual sobre la muestra

$$\sigma = P / A_\sigma$$

### Dónde:

- P = carga aplicada,
- A = área.
- $\sigma$  = esfuerzo compresivo

#### 2.4.7. Representación gráfica:

- Se dibuja el grafico que muestra la relación entre los esfuerzos de: compresión (en las ordenadas) y deformación axial (en las abscisas).
- Se determina del grafico el valor máximo del esfuerzo o el valor del esfuerzo correspondiente al 15% de la deformación que depende del modo de falla y finalmente el valor de la resistencia al corte no drenado  $C_u$ .

$$C_u = q_u/2$$

Con los valores de la resistencia al corte  $C_u$  y el ángulo de fricción interna, el mismo determinado a partir de medir el ángulo  $\alpha$  que forma la horizontal con la línea de falla de la probeta y aplicando la formula  $\alpha = 45^\circ + \phi/2$  se realiza el diagrama de Mohr correspondiente, a fin de determinar el valor de la cohesión.

## 2.5. Compactación de Suelos

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo-deformación de los mismos, por lo general el proceso implica una reducción más o menos rápida de los vacíos, como consecuencia de la cual en el suelo ocurren cambios de volumen de importancia, fundamentalmente ligados a pérdida de volumen de aire, ya que por lo común no se expulsa agua de los vacíos durante el proceso de compactación.

El objetivo principal de la compactación es obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra. Las propiedades requeridas pueden variar de caso a caso pero la resistencia, la compresibilidad y una adecuada relación esfuerzo-deformación, figuran entre aquellas cuyo mejoramiento se busca siempre. Finalmente, suele favorecerse mucho la permanencia de la estructura térrea ante la acción de los agentes erosivos como consecuencia de un proceso de compactación.

### 2.5.1. Ensayo de Compactación en laboratorio.

#### Determina

- La densidad máxima de un terreno

El ensayo de compactación Proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la densidad seca máxima del terreno en relación con su grado de humedad, a una energía de compactación determinada.

Existen dos tipos de ensayo Proctor normalizados:

- "Ensayo Proctor Standard"
- "Ensayo Proctor Modificado"

Ambos ensayos se deben al ingeniero que les da nombre, Ralph R. Proctor (1933). La diferencia entre ambos se encuentra en la energía utilizada, la cual se modifica según el caso variando el número de golpes, el pisón (cambia altura y peso), el molde y el número de capas. La razón de que haya dos ensayos distintos no es más que la modernización de uno con respecto al otro.

El ensayo consiste en compactar una porción de suelo en un cilindro con volumen conocido, haciéndose variar la humedad para obtener la curva que relaciona la humedad y la densidad seca máxima a determinada energía de compactación. El punto máximo de esta curva corresponde a la densidad seca máxima en ordenadas y a la humedad óptima en abscisas.

La energía de compactación viene dada por la ecuación:

$$Y = \frac{n \cdot N \cdot P \cdot H}{V}$$

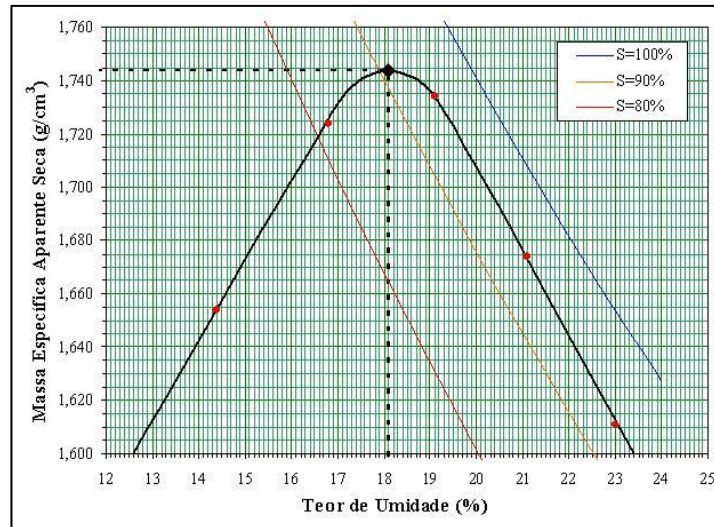
**Dónde:**

- **Y:** energía a aplicar en la muestra de suelo
- **n:** número de capas a ser compactadas en el cilindro de moldeado
- **N:** número de golpes aplicados por capa
- **P:** peso del pisón
- **H:** altura de caída del pisón
- **V:** volumen del cilindro

El Grado de compactación de un terreno se expresa en porcentaje respecto al ensayo Proctor; es decir, una compactación del 85% de Proctor Standard quiere decir que se alcanza el 85% de la máxima densidad del Proctor Standard. El porcentaje puede ser mayor al 100%, por ejemplo, en casos en que la energía de compactación en campo es mayor a la del Proctor Standard.

### **Curva de Compactación**

Cuando se compacta un suelo bajo diferentes condiciones de humedad y siendo cualquiera el método empleado, se relaciona las densidades con los porcentajes de humedad, lo que da como resultante la curva que se muestra a continuación (Imagen 24).



**Imagen 24: Curva de Compactación de la cual se obtiene la humedad óptima y la masa específica (Wikipedia).**

La curva muestra un máximo absoluto, alguna vez acompañado de otro secundario de menor valor. El peso volumétrico seco corresponde al máximo absoluto y recibe el nombre de peso volumétrico seco máximo, la humedad con la que tal máximo se consigue se denomina humedad óptima y representa el contenido de agua con el cual el procedimiento de compactación que se esté usando produce la máxima eficiencia, por lo menos se ésta se juzga por el peso volumétrico seco que se logre.

**Cálculos**

Todos los datos obtenidos en el ensayo de compactación Proctor se vuelcan en la siguiente tabla y para cada punto, con su contenido de humedad correspondiente se calcula: (**¡Error! o se encuentra el origen de la referencia.**).

La densidad húmeda del suelo compactado Dh:

$$Dh = \frac{Ph - Pm}{V}$$

Dónde:

- **Ph** = Peso del molde con el material compactado húmedo.
- **Pm** = Peso del molde.
- **V** = Volumen interior del molde.

La Densidad Seca Ds:

$$Ds = \frac{Dh \times 100}{100 + H}$$

**Dónde:**

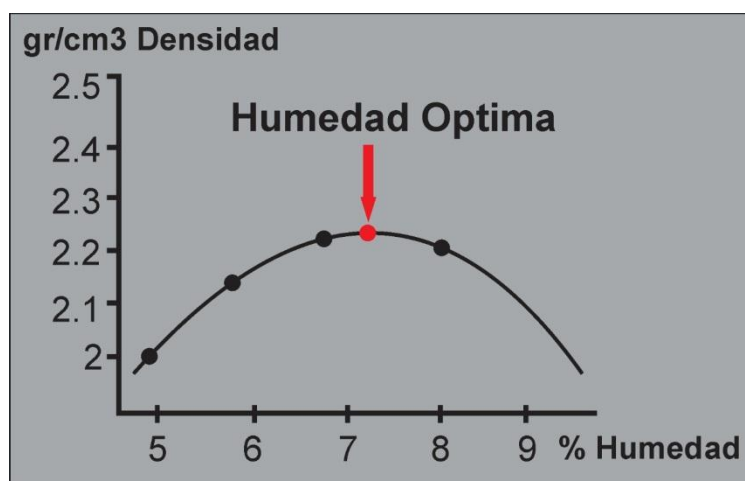
- **Dh** = Densidad Húmeda.
- **H** = Humedad en % del suelo compactado.

## Representación gráfica

En un sistema de ejes rectangulares se colocan en abscisas los valores de humedad en % y en las ordenadas los de la densidad seca. (Imagen 25).

Los puntos así obtenidos se unen por un trazo continuo, obteniéndose de ese modo una curva en forma de parábola que va ascendiendo con respecto a la densidad, pasa por un máximo y luego desciende.

El punto máximo de la curva así obtenida indica en ordenadas la densidad máxima que puede lograrse y en abscisas la humedad óptima que se requiere para alcanzar aquella densidad.



*Imagen 25: Curva de compactación Proctor (Wikipedia).*

## Método Cono de Arena

Para el control de la compactación del terreno se utiliza el método Cono de Arena en el campo, con el cual se determina el peso unitario natural de los suelos de cimentación. Este ensayo proporciona un medio para comparar las densidades secas en obras en construcción. Para ello se fija la densidad seca obtenida en el campo como base en una prueba de laboratorio. Al comparar los valores de estas densidades, se obtiene un control de la compactación conocido como Grado de Compactación que se define, como la relación en porcentaje entre la densidad seca obtenida por el equipo en el campo y la densidad máxima correspondiente a la prueba de laboratorio.



### 3. MECÁNICA DE SUELOS

#### 3.1. Generalidades:

Terzaghi, define a la mecánica de suelos como: *“La aplicación de las leyes de la Mecánica y la Hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no contenido de materia orgánica”.*

Toda construcción se apoya sobre el suelo. Allí, es el material que sirve de soporte en algunos casos como terraplenes para caminos, diques de tierra, grandes rellenos, como material de construcción, etc. Hay ocasiones donde tenemos estructuras de contención, muros de sostenimiento, túneles, taludes de excavación o en terraplén y otros, que el suelo obra como un elemento activo originando presiones sobre la estructura, y ésta debe ser capaz de soportarlas, a la vez simultáneamente una parte de esa estructura actúa sobre el terreno en que se apoya y debe calcularse su acción de modo de no sufrir asentamientos o deformaciones nocivas.

Si se considera el suelo tal como se encuentra en la naturaleza se puede afirmar que su característica más frecuente es la heterogeneidad. Cada lugar ofrece una situación diferente, y en el mismo lugar a distintas profundidades se encuentran diversos materiales y formaciones geológicas variadas, debido al proceso geológico que controló la formación de los suelos en el lugar o la deposición del material que conforma los diferentes estratos en el perfil. Por ello, en un mismo lugar, estructuras distintas requerirán fundaciones de distinta dimensión y aún de distinto tipo según la magnitud de las cargas que transfieren al terreno, y la consiguiente afectación a estratos profundos. Todo lo expuesto requiere un conocimiento de las propiedades y características del suelo debidamente cuantificadas. Los distintos ensayos, llevados a cabo en laboratorio como las ejecutadas in situ, dan los valores con los cuales se obtienen resultados y se puede atribuir resistencias o comportamientos al suelo natural o artificial.

#### 3.1.1. Estudio de la Mecánica de Suelos:

El estudio de suelos permite conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo, y su composición estratigráfica, perfil del suelo, capas o estratos de diferentes características que lo componen en profundidad y ubicación de napas de agua, si las hubiere.

El estudio de la mecánica de suelos consta en general de tres etapas:

- Exploración y ensayos de terreno
- Ensayos de laboratorio
- Elaboración de informe

A la hora de construir cualquier obra o edificio de altura es preciso un estudio previo del suelo, y éste se hace con el objetivo principal de garantizar la estabilidad de la misma.

### 3.1.2. Características y Propiedades

En una primera parte se comienza el estudio por los procesos formadores de los suelos, pues de esos procesos, de las condiciones en que se han desarrollado, dependen las características del material, el tamaño de los granos, la disposición estructural de las partículas, la naturaleza de los vínculos que las unen, la magnitud y proporción de los poros respecto a la parte sólida y otras que permiten identificar el material y ofrecer una perspectiva de sus propiedades.

Una de las características que diferencia los suelos de otros materiales es la forma de agregarse o acomodarse los granos o partículas, dejando espacios intergranulares o poros que pueden estar parcial o totalmente llenos de agua, vapor o aire. De la acción recíproca entre estas fases sólida, líquida y gaseosa, surge una variación en el comportamiento del suelo, especialmente en función del estado de humedad (agua de los poros respecto al suelo sólido) siendo particularmente importante en los suelos muy finos donde aparece una propiedad, la plasticidad que resulta favorable en algunas aplicaciones y altamente nociva para otras.

Con base en estas características y propiedades que los identifican, se pueden clasificar los suelos, existiendo para ello diversos criterios según el destino para el cual estudiamos el material.

Los procesos formadores de los suelos se producen mediante los procesos de edafogénesis los cuales suceden en el tiempo y con la participación de los factores formadores como el clima, vegetación, litología, geomorfología y el tiempo. Se puede decir que los suelos son el resultado de las modificaciones o transformaciones del material que se encuentra en el lugar, o bien han sido llevados más o menos lejos del lecho original de la roca del cual proceden para ser depositados en otra localidad. Varía en cada caso el agente generador del suelo y el proceso por el cual se llega al material actual.

**Los procesos que actúan en un suelo pueden agruparse en tres categorías:**

- 1. Transformaciones (orgánicas e inorgánicas):** Conjunto de procesos que conllevan cambios de composición y forma de los compuestos orgánicos y/o inorgánicos que pueden afectar al material del suelo (meteorización física-química, empardecimiento y rubefacción, melanización, entre otros).
- 2. Translocaciones:** Implica un cambio de posición de un componente que, si bien puede ser tanto ascendente como descendente dentro del perfil, habitualmente domina este último. Supone la concentración de materiales en ciertos puntos del perfil. Según la causa que genera este movimiento distinguimos entre translocaciones en solución (carbonatación, gipsificación, salinización) y translocaciones en suspensión (argiluvación).
- 3. Adiciones y pérdidas:** Incluye procesos de enriquecimiento y de eliminación, respectivamente, de materiales y componentes del perfil edáfico (lixiviado, por ejemplo).

### 3.1.3. Comportamiento del Suelo

El paso siguiente lleva a estudiar el comportamiento mecánico de los distintos tipos de suelos, entre ellos interesa principalmente los fenómenos de filtración del agua en el suelo, y

cómo las presiones en aquella modifican el comportamiento de éste, tanto en el aspecto de la capacidad de deformarse, como en la resistencia del suelo frente a acciones exteriores (cargas de estructuras).

**En lo referente a cimentaciones se presentan dos problemas característicos:**

- El apoyo sobre suelos blandos
- El apoyo sobre terrenos duros

En los primeros debe darse principal importancia a las *deformaciones* que pueden sufrir por la acción de las cargas que deben ser compatibles con las que admita la estructura. En los terrenos duros las deformaciones suelen resultar intrascendentes, por lo que la capacidad de soportar cargas dependerá de la *Resistencia* del suelo, lo que se ubica dentro de lo que llamamos problemas de rotura, o de resistencia al corte del suelo.

En el estudio de las deformaciones del suelo frente a cargas, y a la resistencia al corte, los ensayos para obtener los parámetros característicos con sus múltiples variantes, constituyen el verdadero esqueleto de la Geotecnia y proporcionan las leyes y criterios que sirven de bases para el cálculo en los problemas de la ingeniería de suelos.

Del conocimiento de las propiedades y comportamiento de los distintos tipos de suelos surgirán las técnicas apropiadas para efectuar la exploración, con pozos, sondeos, auscultaciones y aún métodos indirectos que otorguen la información útil para los distintos problemas de la Geotecnia. Del análisis de las condiciones de equilibrio plástico y condiciones límites de resistencia se llega a la determinación de empujes laterales que sirven para dimensionar muros de sostenimiento, entibaciones en excavaciones profundas, estabilidad de túneles, y aún las condiciones resistentes del suelo como capaz de soportar la carga transmitida por las cimentaciones. Merece especial atención este último tema, pues se verá la forma cómo el suelo resiste las cargas, con las distintas variantes según se use cimentaciones superficiales o se deba recurrir al apoyo en estratos profundos, con o sin la colaboración de los estratos intermedios.

#### **3.1.4. Planificación de un Estudio de Suelos**

Existen dos condiciones importantes para una adecuada planificación: el conocimiento del subsuelo y el de la estructura de la obra.

La estratigrafía del lugar puede obtenerse de datos zonales, estudios de suelos que se hayan realizado con anterioridad, estudios geológicos o a través de las perforaciones para agua o pozos absorbentes. En algunas obras de gran envergadura suele ser necesario efectuar cateos previos cuando no se disponen de antecedentes suficientes.

**Para el conocimiento del subsuelo es conveniente obtener los siguientes datos:**

- Agentes de formación de los estratos (formación aluvial, eólica, glacial, etc.).
- Espesores aproximados de los mismos.
- Tipo de estructura del suelo, tamaño máximo de partículas.
- Nivel de napa freática.

### En cuanto a la estructura de la obra es necesario conocer:

- Importancia de la obra.
- tamaño ( $m^2$  cubiertos).
- costo, destino, materiales de construcción a utilizar.
- asentamientos diferenciales, cargas máximas por columnas, módulos entre columnas.

#### 3.1.5. Sondeos

Los sondeos involucran tanto la excavación de pozos a cielo abierto como perforaciones con equipos especiales y permiten determinar el perfil del suelo que indica una sección vertical a través del terreno mostrando espesores y el orden de sucesión de los estratos.

A medida que aumenta la superficie del terreno cubierta por la construcción deberá aumentarse el número de sondeos. Existen normas como las recomendadas en Brasil: superficies de hasta  $200 m^2$  la cantidad mínima de sondeos será de dos, superficies de hasta  $400 m^2$  la cantidad mínima será de tres y con superficies cubiertas mayores de  $400 m^2$ , aumenta un sondeo cada  $400 m^2$ .

El predio donde se construirá La Futura Ciudad Universitaria ocupa aproximadamente una superficie total de  $424,330.55 m^2$ . Este proyecto consta de 11 sondeos distribuidos sobre la superficie en el que en dos de ellos se realizó de forma paralela ensayos S.P.T. más 2 calicatas.

#### Tipos de Sondeos:

Se pueden usar distintos procedimientos:

- Excavaciones mediante pozos a cielo abierto.
- Perforaciones con equipos manuales, palas vizcacheras u hoyadoras, helicoidales.
- Equipos mecánicos.

Los sondeos fueron realizados con equipos manuales, pala helicoidal (Foto 5). Éste instrumento está constituido por dos semicilindros desplazados de modo que al girarlos, los bordes cortantes hacen introducir el útil dentro del terreno. Tienen diámetros que van entre 5cm a 20cm. Consta de un útil de perforación y barras que se acoplan mediante rosca hasta el mango que sirve para girar e introducir la cuchara en el terreno. Una vez lleno el interior, la cuchara se extrae con el material de suelo recuperado y a medida que se profundiza se van agregando barras que normalmente tienen entre 1,20m a 1,50m de longitud. Y la calicata fue realizada con instrumentos manuales, pala y picota.

En estos sondeos exploratorios la muestra de suelo obtenida es completamente alterada, pero suele ser representativa del suelo en lo referente a contenido de agua.



*Foto 5: Herramientas para sondeos exploratorios por rotación manual, a) Pala Helicoidal b) Barras de acople c) llaves de ajuste.*

### **Extracción de muestras:**

Durante la ejecución de los sondeos se extraen muestras representativas de los diferentes estratos que se van atravesando, las cuales permiten realizar los ensayos de laboratorio necesarios. Generalmente se extrae una muestra cada metro, metro y medio o cada vez que se produce un cambio de suelo.

#### **3.1.6. Calicata**

Las calicatas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa. En suelos con grava, la calicata es el único medio de exploración que puede entregar información confiable y es un medio efectivo para exploración y muestreo de suelos de fundación y materiales de construcción a un costo relativamente bajo.

La sección mínima recomendada generalmente es de 0,80m por 1,00m a fin de permitir una adecuada inspección de las paredes. El material excavado deberá depositarse en la superficie en forma ordenada separado de acuerdo a la profundidad y horizonte correspondiente. Debe desecharse todo el material contaminado con suelos de estratos diferentes. Se dejarán plataformas o escalones de 0,30m a 0,40m al cambio de estrato reduciéndose la excavación. Esto permite una superficie para efectuar la determinación de la densidad del terreno. Se deberá dejar al menos una de las paredes lo menos contaminada posible, de modo que representen fielmente el perfil estratigráfico del pozo.



### 3.2. Parámetros Geomecánicos

#### 3.2.1. Compacidad

a) Según Densidad Relativa, calculada a partir del ensayo Cono de Arena en las calicatas

$$Dr = \frac{(\delta_{nat} - \delta_s) \cdot \delta_{m\acute{a}x}}{(\delta_{m\acute{a}x} - \delta_s) \cdot \delta_{nat}} \times 100$$

Dónde:

- $\delta_{nat}$  = densidad natural, in situ.
- $\delta_s$  = densidad suelta
- $\delta_{m\acute{a}x}$  = densidad máxima de compactación.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo S.P.T. se tienen en cuenta los valores estandarizados de consistencia para arcillas y arenas (Imagen 26).

a) CONSISTENCIA		b) Arcillas		
Arcillas	Vlores del SPT	Valores del SPT	Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	
Muy Blanda	< 2	< 2	< 0,25	
Blanda	2 y 4	2 y 4	0,25 a 0,50	
Median. Compacta	4 a 8	4 a 8	0,50 a 1,00	
Compacta	8 a 15	8 a 15	1,00 a 2,00	
Muy Compacta	15 a 30	15 a 30	2,00 a 4,00	
Dura	> 30	> 30	> 4,00	
Arenas				
Arenas	Vlores del SPT			
Muy Sueltas	< 4			
Sueltas	4 a 10			
Median. Densas	10 a 30			
Densas	30 a 50			
Muy Densas	> 50			

Imagen 26: Valores de consistencia para limos y arenas. Tabla B, valores de compacidad relativa para suelos finos en función de los resultados de S.P.T. (Leoni, 2010).



### 3.2.2. Ángulo de fricción interna y cohesión

Estos parámetros geomecánicos se obtuvieron de los suelos ML y SM (con un contenido de finos entre 40 % y 50%) mediante ensayos de compresión simple no confinada a deformación controlada sobre probetas moldeadas a densidad natural. En los suelos arenosos SM (con un contenido de finos <40% y se obtuvieron a partir de los ensayos S.P.T, utilizando la fórmula de Kishida y para los suelos granulares gruesos a la fórmula de Chenn.

**Fórmula de Kishida:**

$$\Phi = 15^a + \sqrt{18 \cdot Nc}$$

Dónde:

- Nc = número de golpes para penetrar la sonda 30 cm

**Para suelos granulares incoherentes (gravas GM a GP-GM)**

Fórmula de Chenn:

Valor del Angulo  $\Phi$ :

$$\Phi = 36^\circ + \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4$$

Dónde:

- $\Phi$  = Angulo de fricción interna.
- $\Phi_1$  = Compacidad.
- $\Phi_2$  = Forma y rugosidad de los granos
- $\Phi_3$  = Tamaño de los granos.
- $\Phi_4$  = Distribución granulométrica.

### 3.2.3. Capacidad de carga y tensión admisible

**Zapata Corrida: Criterio de Terzaghi**

Capacidad de carga:

$$qc = c \cdot Nc + \gamma l \cdot Df \cdot Nq + 0.5 \cdot B \cdot \gamma' \cdot N\gamma$$

Dónde:

- **c** = cohesión

- $\gamma_1$  = peso unitario efectivo del suelo por encima del nivel de desplante
- $\gamma'$  = peso unitario efectivo del suelo por debajo del nivel de desplante
- $D_f$  = profundidad de la superficie de apoyo del cimiento o profundidad de desplante.
- $B$  = ancho de la zapata o base
- $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  = factores de capacidad de carga adimensionales, funciones únicamente de  $\phi$

Tensión admisible:

$$\sigma_{adm} = qc/Fs$$

Dónde:

- $qc$  = capacidad de carga
- $Fs$  = 3, factor de seguridad

**Zapata cuadrada: Criterio de Terzaghi**

Capacidad de carga:

$$qc = 1,2 \cdot c \cdot N_c + \gamma l \cdot D_f \cdot N_q + 0,4 \cdot B \cdot \gamma' \cdot N_\gamma$$

Tensión admisible:

$$\sigma_{adm} = \frac{qc}{Fs}$$

Capacidad de Carga:

$$q_c = \gamma D_f N_q + 0,6 \gamma R N_\gamma$$

Dónde:

- $q_c$  = capacidad de carga
- $\gamma$  = peso unitario natural por encima del nivel de fundación
- $D_f$  = profundidad de desplante
- $N_q$  = profundidad de la superficie de apoyo del cimiento o profundidad de desplante.
- $\gamma$  = Peso unitario natural por debajo del nivel de fundación
- $R$  = radio de la pila
- $N_\gamma$  = factores adimensionales que dependen del ángulo de fricción

Área de sección recta de la pila:

$$Q_{ad} = q_{ad} \cdot \pi R^2$$

Dónde:

- $Q_{ad}$ =carga admisible de la pila
- $q_{ad}$ =tensión admisible de la pila
- $\pi R^2$ = área de la pila

Fundación: Pilas

Asentamientos

Los asentamientos se calcularon para los suelos más compresibles, para limo y arena limosa con finos mayor al 40%. A partir de la teoría elástica.

*Asentamiento inmediato:*

$$S_e = \frac{q_0 \cdot B \cdot I \cdot (1 - \mu^2)}{E_s}$$

Dónde:

- $S_e$  = asentamiento elástico (cm)
- $q_0$  = esfuerzo promedio transmitido o esfuerzo vertical ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $B$  = ancho de la cimentación (m)
- $E_s$  = módulo de Young o de elasticidad ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $I$  = factor de influencia o factor de forma (cm/m)
- $\mu$  = relación de Poisson

**Asentamiento de Consolidación:**  $S_c = U_g \cdot P_o$      $P_o = m \cdot v \cdot \sigma_{adm} \cdot H$

Dónde:

- $U_g$ = coeficiente que depende del tipo de suelo
- $P_o$ = asentamiento odométrico
- $m \cdot v$ = coeficiente de compresibilidad volumétrico
- $\sigma_{adm}$ = esfuerzo vertical efectivo (tensión)
- $H$ = espesor de la capa



## CAPÍTULO IV

# METODOLOGÍA DE TRABAJO

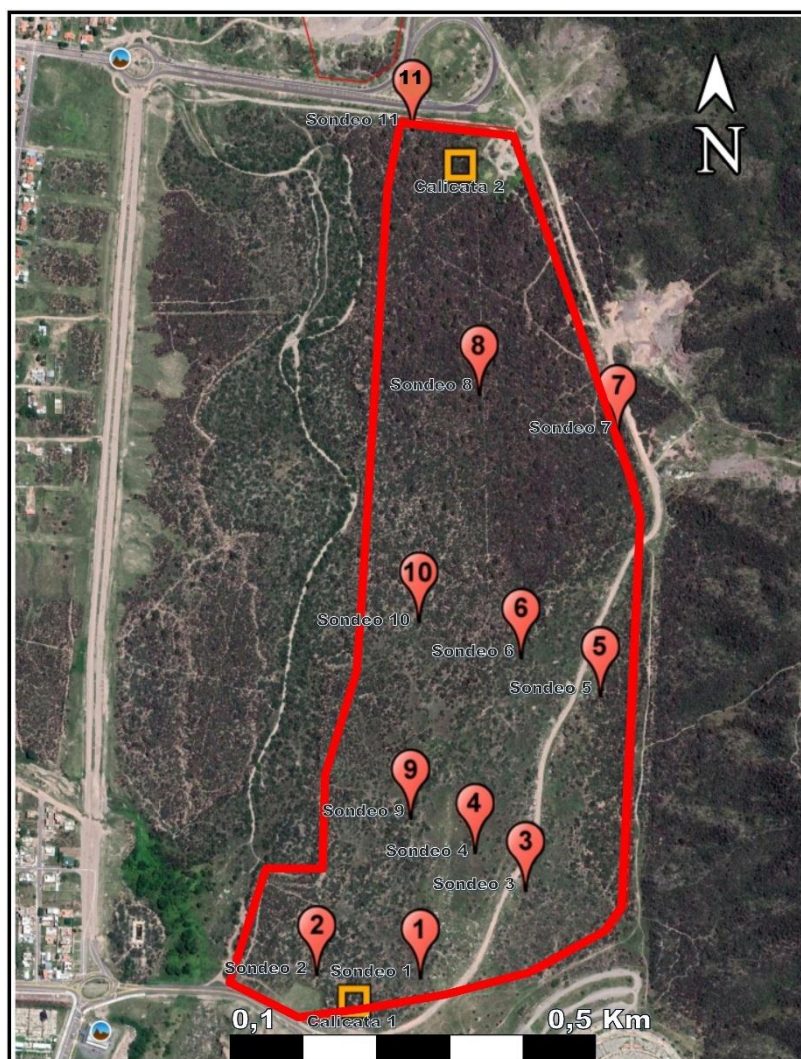
---

## 4. TRABAJOS DE CAMPO

El área de estudio se dividió en dos sectores, asignando uno a cada integrante del equipo de trabajo: el sector Sur al estudiante José Oriel Blas Bosch comprendiendo los sondeos 1, 2, 3, 4, 9, 10, y el sector Norte al estudiante Luis Ignacio Tártalos Aredez con los sondeos 5, 6, 7, 8, 11, en conjunto se llevaron a cabo calicatas y ensayos S.P.T. (Terzaghi, 1955)

### 4.1. Etapa de trabajo y recolección de muestras

Se llevaron a cabo once sondeos de entre cuatro y seis metros de profundidad complementando dos de ellos con ensayos S.P.T. además, dos calicatas de tres metros de profundidad y ensayos de densidad in situ (Imagen 27).



*Imagen 27: Ubicación de los Sondeos ejecutados y de las Calicatas en el Área de Trabajo (Google Earth Pro, 2018).*



## 4.2. Sondeos de profundidad

Los sondeos se realizaron mediante el uso de una pala helicoidal de acción manual en puntos fijos determinados previamente por GPS durante la etapa de recolección de información, se sacaron muestras cada metro de profundidad o cada cambio de litología y se coloraron en bolsas de alta resistencia de polietileno, cada una de ellas fue marcada con los datos correspondientes para ser identificadas según sondeo y profundidad definida (Foto 6).

### 4.2.1. Instrumental utilizado para el trabajo para sondeos:

- GPS
- Pala helicoidal
- Barra de acople
- Pala para excavar
- Picota
- Bolsas de polietileno
- Fibras permanentes

### 4.2.2. Procedimiento

Se procedió al inicio de la excavación colocando la pala helicoidal operada manualmente por dos personas. Una vez que se alcanzó el metro de profundidad se procedió a la toma de muestras y su recolección en bolsas de muestreo previamente etiquetadas. Posteriormente se adhirió a la pala helicoidal una barra de acople de un metro (1 m) de longitud y se continuó excavando hasta alcanzar un nuevo metro de profundidad, momento donde se repite el procedimiento (Foto 7).



*Foto 6: a) Ejecución de sondeo con pala helicoidal; b) Excavación de calicata; c) Bolsas de muestra rotuladas.*





Foto 7: a) zona del sondeo b) sacando muestra mediante pala helicoidal.

### 4.3. Ensayos de penetración Standard, S.P.T. (Ensayo Terzaghi)

#### 4.3.1. Instrumental utilizado para el ensayo S.P.T. (Terzaghi)

- Pala helicoidal.
- Maza de 63,5 kg.
- Saca muestras: de 50 mm de diámetro externo.
- Saca muestras: de 35 mm de diámetro interno.
- Variante con diámetro interno 38mm y tubo porta testigo (diámetro interno final 35mm)
- Mecanismo de liberación del martinete mediante soga y malacate
- Barras de sondeo.
- Cabeza de golpeo.
- Trípode de soporte
- Bolsas de muestreo
- Marcador permanente

#### 4.3.2. Procedimiento

Los ensayos de penetración estándar se realizaron en dos de los sondeos de profundidad. Se efectuaron las excavaciones con pala tipo vizcachera hasta la cota de profundidad deseada para realizar los ensayos. Se bajó el saca muestra hasta el piso de la excavación prolongándose con una serie de caños o barras de prolongación de un metro con cincuenta centímetros a dos metros (1,50 m a 2,00 m) de manera que sobresalga del nivel del terreno; finalizando arriba con un tramo con cabeza a golpear. A esta última se le acopló una barra guía por donde se dejaba caer un martillo con un peso normalizado de sesenta y tres kilos con quinientos gramos (63,5 Kg), que se dejó caer desde una altura de setenta y seis centímetros (76 cm), el efecto de la inserción es una perturbación incipiente en el terreno, por ella se introdujo 15 cm de la sonda de muestreo y se contó el número de golpes requeridos (N) para introducir los 30 cm necesarios de herramienta en el suelo. A partir del número de golpes se pudo determinar la densidad relativa y ángulo de fricción (Foto 8). Luego se extrajo la sonda de muestreo y se recogió la muestra alojada en el cilindro para efectuar los ensayos de identificación (humedad natural, granulometría, límites de consistencia) (Foto 9).

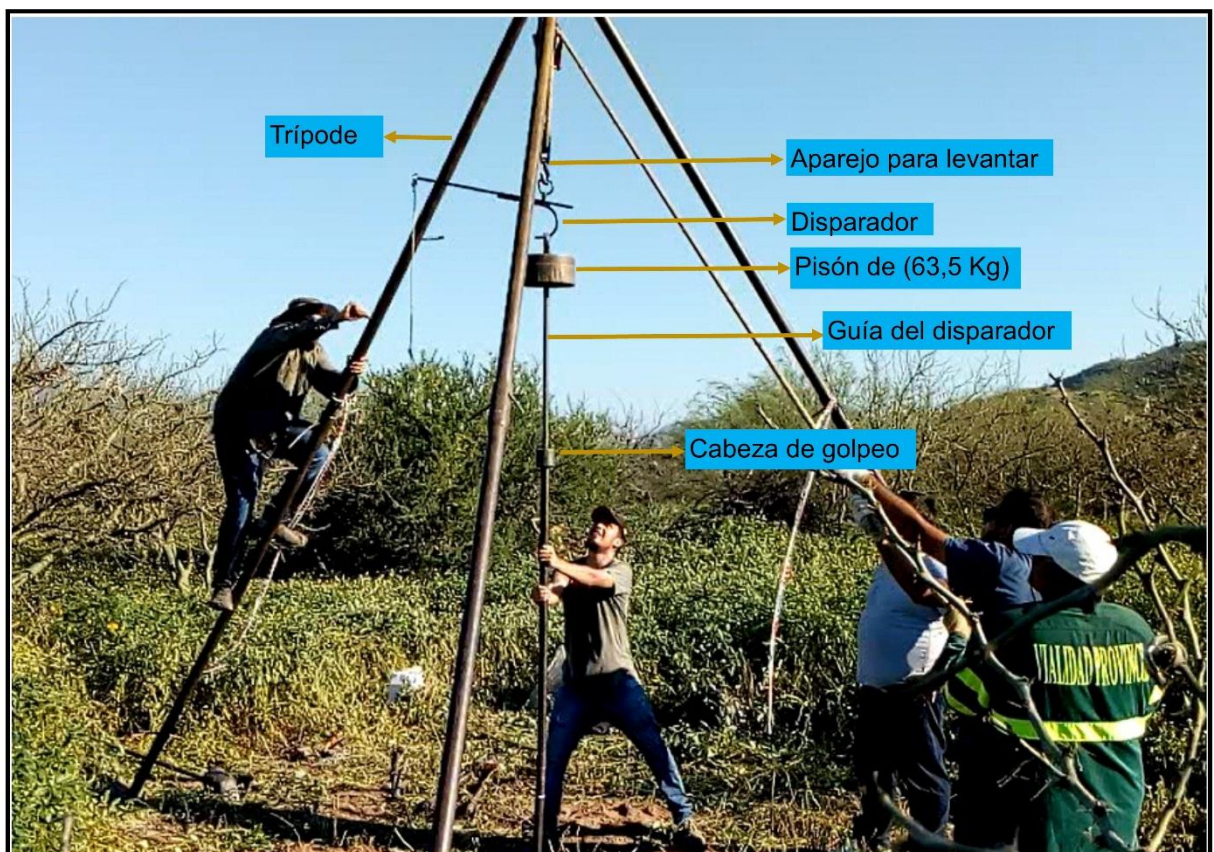


Foto 8: Partes del dispositivo Terzaghi. Trabajo in situ.





Foto 9: a) Barra de S.P.T. b) Demarcación de los 30 cm a hincar c) maniobra de golpeo.

#### 4.4. Ensayo de Densidad por Cono de Arena.

##### 4.4.1. Instrumental de trabajo

- Aparato cono de arena, compuesto por una válvula cilíndrica de 12,5 mm de abertura, con un extremo terminado en embudo y el otro ajustado a la boca de un recipiente de aproximadamente 4 l de capacidad.
- Bandeja de hierro, con orificio central de acuerdo a las dimensiones del orificio de salida del cono.
- Recipiente cilíndrico con boca de volumen conocido
- Arena estandarizada.
- Balanza de 10 Kg de capacidad.
- Cinta métrica.
- Cortafierros, punta, espátula, maza, etc.
- Bolsas de material plástico.
- Marcador permanente.
- Tamices N° 20 y N° 30.

#### 4.4.2. Preparación preliminar

Se secó en estufa 25 kg de arena silíceá seleccionada de tamaño medio.

Por tamizado se separó la fracción que pasa tamiz N° 20 y retiene tamiz N° 30.

Se colocó arena en el cono sobre el recipiente de hierro con orificio central, se abrió el robinete y se dejó caer el arena seleccionada del cono al recipiente hasta llenarlo, se enrasó y se determinó el peso de la arena utilizada para llenar el recipiente cilíndrico, se repitió la operación tres veces y se sacó el promedio, se lo dividió en el volumen y se determinó el peso aparente suelto de la arena (Foto 10).



*Foto 10: Aparato Cono de Arena para el ensayo de las densidades.*

#### 4.4.3. Procedimiento

Se emparejó el lugar donde se efectuó el ensayo y se eliminó todo el material suelto. Acto seguido se colocó la platina del cono en la superficie, se marcó el contorno del orificio y con la ayuda de un corta fierro, punta y cuchara, se procedió a realizar un hoyo de una profundidad de quince a veinte centímetros (15 a 20 cm), tratando de obtener paredes verticales y lisas. Luego se procedió a vaciar el contenido de una bolsa de arena ya tarada en la parte superior del cono, colocando previamente el embudo en coincidencia con la platina. Una vez que la cámara superior del cono se llenó de arena, se abrió el robinete dejando caer libremente la misma dentro del pozo. Se cerró el robinete cuando el arena dejó de caer, y el sobrante se recogió en una bolsa con su respectiva identificación. Se levantó la arena sobrante para su posterior reutilización (Foto 11).

Se pesó el material húmedo recogido en la bolsa obteniéndose el peso húmedo (Ph) de la muestra, se colocó el material en una bandeja y se secó a estufa, pesando



nuevamente y obteniendo el peso seco ( $P_s$ ). Con los datos obtenidos se calculó y determinó el grado de compactación de una capa de suelo determinado.



Foto 11: a) y b) Preparación y sacado de muestra de suelo natural in situ c) Cono de arena ensamblado junto a la platina d) llenado de arena.

## 4.5. Calicata

### 4.5.1. Instrumental de trabajo

- Pala.
- Pico.
- Cortafierros, punta, espátula, maza, etc.
- Bolsas de material plástico.
- Marcador permanente.
- Cono de densidad.

Se realizaron dos calicatas en el área de trabajo una en el sector Sur asignada al estudiante José Blas Bosch y otra en el Norte asignada al estudiante Ignacio Tártalos Aredez con el objeto de conocer las diferencias en el corte del subsuelo y tomar muestras cada metro de profundidad o cambio de litología y hacer pruebas de densidad insitu mediante el ensayo del cono de arena (Foto 12).



Foto 12: Calicatas por sector: a) Sur b) Norte

#### 4.5.2. Procedimiento

Se excavaron calicatas de paredes verticales cero ochenta por un metro con cincuenta centímetros (0.80 x 1,50 m) de sección y dos metros (2 m) de profundidad, eventualmente, la parte superior de las calicatas debieron ser lo suficientemente ampliar como para que pueda visualizar fácilmente el fondo. También se construyeron niveles intermedios de cincuenta centímetros (50 cm) que oficiaron como plataforma de acceso a las calicatas (Foto 13).

Se tomaron muestras a cada metro de profundidad o en cada cambio litológico y se realizaron ensayos de densidad a profundidades variables según la misma.

Una vez finalizado el trabajo se procedió a tapar las calicatas con el material previamente removido y se sometieron a una leve compactación como forma de seguridad para eliminar alguna posibilidad de derrumbe.





Foto 13: a) Demarcación de la calicata b) Calicata en desarrollo c) Calicata finalizada.

## 5. TRABAJOS DE LABORATORIO

En laboratorio se efectuaron los siguientes ensayos:

### 5.1. Contenido de humedad natural

#### 5.1.1. Instrumental de trabajo

- Balanza de laboratorio
- Anafe industrial de laboratorio o estufa
- Cuchara de muestreo
- Bandejas para colocar las muestras

#### 5.1.2. Procedimiento

Se pesó cada muestra de suelo para determinar la humedad natural del mismo, el procedimiento está en función del tipo de suelos, ya sea fino o granular (Foto 14). Se pesaron para los primeros un total de un kilogramo de muestras, mientras que para los materiales de una mayor granulometría se pesó la totalidad de la muestra obtenida, generalmente de cinco a ocho kilogramos. Luego se secaron las muestras a una temperatura constante de 110°C y finalmente se pesaron las muestras en seco una vez frías (Foto 15).

#### 5.1.3. Fórmula de humedad natural:

$$H\% = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$



Foto 14: a) Pesaje de muestra húmeda. b) Secado de muestra en estufa.



Foto 15: a) Pesaje de muestra granular húmeda. b) secado de muestra granular en estufa.

Se pesaron en la balanza la totalidad de las muestras de suelo granular, se llevaron al anafe para secado (tarea que toma más tiempo que las muestras que contienen solo material fino). Se pesaron la totalidad de las muestras secadas y se determinaron para cada una de ellas la humedad natural.



## 5.2. Ensayo de Granulometría.

### Instrumental de trabajo:

- Tamices para suelo Granular: 2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8".
- Tamices para material fino N° 4, 10, 40, 200.
- Balanza de laboratorio.
- Anafe Industrial de laboratorio o estufa.
- Mortero.

### 5.2.1. Procedimiento

Se pesaron en su totalidad las muestras obtenidas en el campo y luego se secaron en anafe a temperatura constante de 110°C se dejaron enfriar y se pasaron por una serie de tamices cuya malla de retención fue en orden de apertura decreciente desde las dos pulgadas (2") hasta los tres octavos de pulgadas (3/8") para determinar la fracción gruesa obtenida en las muestras. Luego se trató el material sobrante fino con los tamices número cuatro, diez, cuarenta y doscientos (N° 4, 10, 40, 200). Se consideró el tamiz número cuatro (N° 4) como el límite que separa los materiales gruesos de los materiales finos (Foto 16).



Foto 16: a) Tamices para suelo granular b) Tamices para suelo fino.

## Tamizado por vía seca Procedimiento

Las muestras previamente secadas, se pasaron por los tamices de dos pulgadas (2") a cuatro milímetros (4 mm). Se registraron los pesos retenidos de cada fracción granulométrica y el pasante del tamiz de cuatro milímetros (4 mm).

El pasante del tamiz de cuatro milímetros (4 mm) se trató por vía húmeda (Foto 17).



Foto 17: a) Tamices utilizados para la determinación de la fracción granulométrica gruesa.

## Tamizado por vía húmeda Procedimiento

Se extrajo un kilogramo (1 kg) de muestra y se colocó en un tamiz número doscientos (N° 200) y se eliminaron mecánicamente los limos y arcillas por lavado, luego se seca la muestra en anafe, posteriormente se lo pasaron por el tamiz (N°10, 40 y 200) pesando los retenidos en cada tamiz con tal de completar la granulometría la granulometría (Foto 18).

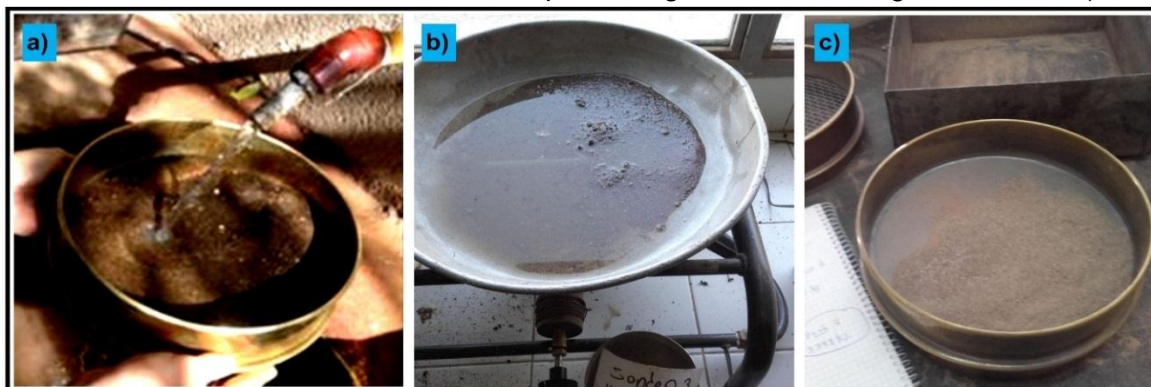


Foto 18: a) Tamizado vía húmeda; b) Secado de la muestra c) Tamizado vía seca.

### 5.3. Determinación de límites de Atterberg: Límite Líquido y Plástico, Índice de plasticidad.

#### Instrumental de trabajo:

- Cápsula de evaporación de metal enlozada de 160 mm de diámetro (Foto 19).
- Espátula con una hoja flexible de aproximadamente 75 mm de largo por 20 mm de ancho.
- Cuchara de Casagrande.
- Acanalador y pesa filtros.
- Balanza de laboratorio de precisión de 0.01 g.
- Probeta aforada de 25 ml.
- Azulejo de vidrio esmerilado para amasado.
- Horno de secado.

#### 5.3.1. Procedimiento

Se pasa una muestra por tamiz N°40 se extrajeron trescientos gramos (300 g), para la determinación de límites de Atterberg. Se colocó la muestra en el plato de evaporación, se agregó agua destilada y mezcló completamente con la ayuda de la espátula. Se continuó la operación durante un tiempo y con la cantidad de agua destilada necesaria para asegurar una mezcla homogénea (Foto 20, Foto 21 y Foto 22).

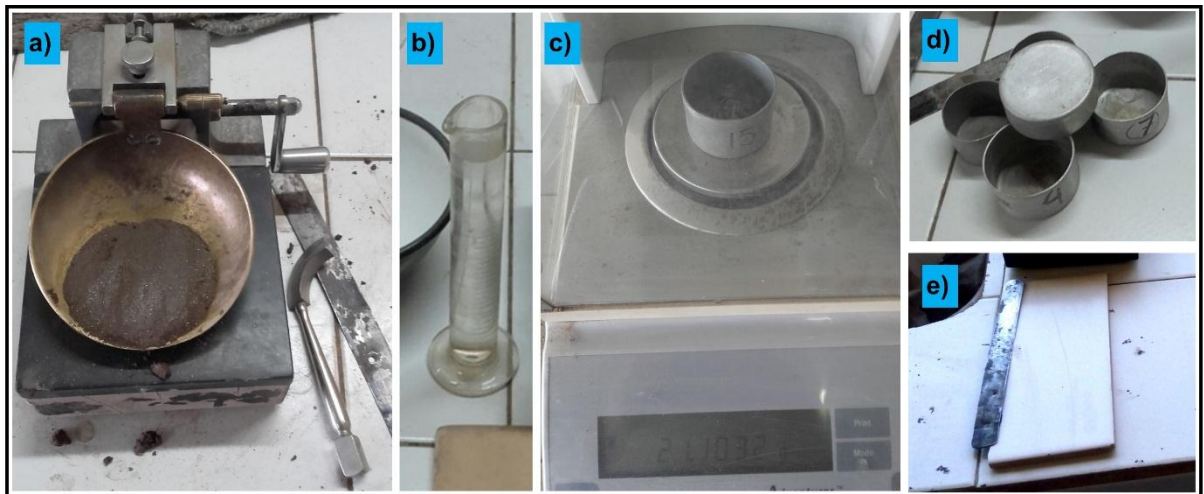
#### 5.3.2. Límite Líquido

Se dispuso la muestra en una cápsula metálica enlozada, se roció con agua destilada y distribuyó con una espátula de hoja flexible hasta conseguir una masa con distribución homogénea de la humedad. Una vez lista, se pasó parte de la muestra a la cuchara de Casagrande (Foto 19) con el material se formó una pastilla con medidas definidas y se le da forma con una plantilla que deja en el centro una ranura uniforme luego se separó el cuerpo húmedo en dos partes. Mediante la operación de una manivela que produce elevación de la cuchara y su subsecuente caída, un choque controlado contra una base de caucho duro golpeó de forma controlada y repetida, se tuvo en cuenta la cantidad de golpes que fueron necesarios para unificar las dos partes separadas. Se determinó el límite líquido con el contacto de las dos porciones separadas, en el momento que ocurre unión con la aparición de una línea de agua posteriormente se extrajo la porción central de la pastilla con una espátula y se llevó en pesa filtro previamente identificado a secado posteriormente se pesó en balanza ultra precisa. Se tomó nota del peso húmedo del límite líquido.

#### 5.3.3. Límite Plástico

Del material sobrante de la pastilla que se usaron en el límite líquido se utilizaron para hacer formas cilíndricas, en una superficie esmerilada, de un diámetro estandarizado de 2mm o hasta que se observan roturas en la superficie en ese momento es llevado a un pesa filtro previamente identificado el cual es pesado con la muestra para obtener el límite plástico. Ambas muestras de límite líquido y límite plástico son llevadas al anafe a una temperatura a 110°C para su evaporación y posterior pesaje de las muestras secas.





**Foto 19:** Instrumental de trabajo: a) Cuchara de Casagrande, acanalador y espátula. b) Probeta de ensayo 100 ml. c) Balanza de laboratorio. d) Pesa filtros .e) Superficie de moldeado.



**Foto 20:** a) Preparación de muestra pasando por tamiz 40 previamente disgregada en mortero; b) Preparación de muestra húmeda en cápsula de evaporación.





Foto 21: a) Determinación del límite líquido en cuchara de Casagrande b) Muestra sobrante c) Determinación del límite plástico.



Foto 22: Proceso de secado límites de Atterberg a) Muestra de límite líquido; b) Muestra de límite plástico.

#### 5.4. Ensayos de compactación Proctor (densidad máxima y humedad óptima).

##### Instrumental de trabajo:

- Molde de compactación cilíndrico, con collar de extensión. Dimensiones según ensayo.
- Pisones de compactación. Peso y altura de caída según ensayo.
- Balanza de laboratorio.
- Cucharas, bandejas, pesa filtros, espátulas, etc.
- Estufas, probetas graduadas.

### Procedimiento:

Se llevó cada muestra a peso constante al horno o anafe a 110°C, luego se pasó por tamiz N°4 y se extrajeron cinco porciones de dos mil quinientos gramos (2500 g), luego se les adicionó agua destilada en una cantidad variable del dos por ciento (2%) por cada muestra y se homogeneizaron con espátula (Foto 23 a-b). Se trasladó cada muestra homogeneizada a un molde de 101,6 mm, previamente verificando el peso y volumen del mismo. El molde se apoyó sobre una base firme y con una cuchara de almacenero se colocó en el mismo una cantidad determinada de material suelto. Se usó un pisón normalizado y se aplicó un número de golpes estandarizado (25 golpes) sobre la superficie del suelo. Se repitió la operación dos veces más (Foto 23-c) luego se retiró el collar de extensión y se enrasó el exceso de material. Se pesó el molde junto con la muestra (Foto 24). Se tomó el dato de Ph. Se tomó una parte de la muestra de suelo para secar y se determinó la humedad. Se repitió toda la operación para cada punto de humedad. Los resultados se plasmaron en el gráfico de curva de Humedad-Densidad.



**Foto 23: a) Preparación de muestra a peso estándar 2,500 kg; b) Muestra con el 10 % de agua del total de la muestra c) Golpes de la pesa en molde Proctor.**



Foto 24: a) Pesaje de muestra más el molde Proctor.

## 5.5. Determinación del contenido de sales solubles y sulfatos.

### 5.5.1. Instrumental de trabajo

- Tamices IRAM 4,75 mm, (N°4) 2,00 mm (N°10) y 425  $\mu\text{m}$  (N°40).
- Mortero de porcelana con pilón revestido de goma de medidas corrientes.
- Recipiente de vidrio de boca ancha de 1 l de capacidad con varilla de vidrio agitador.
- Recipiente de vidrio de iguales características, de 4 l de capacidad.
- Matraz o probeta aforado de 500  $\text{cm}^3$ .
- Balanza capacidad 5 a 10 kg sensibilidad al 0,1 g.
- Balanza de precisión al 0,001 g.
- Pipeta de 100  $\text{cm}^3$  y 25  $\text{cm}^3$ .
- Pipeta graduada de 10  $\text{cm}^3$ .
- Vasos de precipitación de 250  $\text{cm}^3$
- Crisol calcinado.
- Capsula de porcelana de 130-150  $\text{cm}^3$ .
- Elementos varios de uso corrientes, bandejas para mezclar el material, cucharas, espátulas, estufa para secado de muestras, etc.

### 5.5.2. Procedimiento para suelo fino

Se extrajo material de la muestra de interés a ensayar, se llevó al anafe y se mantuvo por 3 horas a temperatura a 110°C (Foto 28). Se pesaron 100 g del suelo seco y se colocó en un recipiente de 1 litro perfectamente seco, se agregó lentamente 500  $\text{cm}^3$  de agua destilada medidos en un matraz aforado, revolvió cuidadosamente la mezcla con una varilla de vidrio de manera enérgica durante cinco minutos (5 min) para material fino y quince minutos (15 min) para material grueso para evitar la formación de grumos se tapó y se dejó reposar por veinticuatro horas (24 h) (Foto 26). Se revisó el matraz con la muestra y se evaluó si presentaba floculación por encima del suelo sedimentado, en caso de presentarla se extraía



con una pipeta cien centímetros cúbicos (100 cm<sup>3</sup>), teniendo cuidado de no agitar las partículas precipitadas en el fondo, lo extraído se vertió en una cápsula previamente secada durante media hora. Posteriormente se colocó la cápsula con la solución en baño María hasta que se evaporó el líquido en su totalidad. Se extrajo se colocó en el anafe a una temperatura de 110 °C durante media hora. Por último se retiró y dejó enfriar, pesándose la muestra seca.



**Foto 25: a) Muestras de suelo a determinar presencia de sales. b) Muestra con de agua destilada c) Muestra agitadas.**



**Foto 26: Sales de suelo fino sin floccular, 24 h después.**



### 5.5.3. Procedimiento para suelos gruesos

Se colocó en un recipiente de vidrio de 4 litros de capacidad, 1 kg de muestra mezclándolas. Se incorporan lentamente 1 litro de agua destilada, medido en una probeta, revolviendo la mezcla durante 15 minutos cuidando de evitar salpicaduras u otras pérdidas de material. Se tapa el recipiente y se deja en reposo hasta el día siguiente (Foto 27 y Foto 28).



Foto 27: a) Probeta de 1000 ml b) Agitación mecánica.



Foto 28: Muestra de suelo en reposo después de la agitación. b) Muestra de suelo sin presencia de floculación, 24 hs después.

## 5.6. Ensayo para determinar el Peso Unitario Suelto

### Instrumental de trabajo:

- Horno
- Recipiente de volumen conocido
- Cuchara de almacenero
- Balanza

### Procedimiento:

- 1- Se disgregó una cantidad de muestra de suelo y se puso a secar en estufa a 110°C. Con ayuda de una cuchara tipo almacenero se colocó la muestra de suelo en un recipiente de volumen conocido y se enrasó (Foto 29), luego se pesó el recipiente con la muestra enrasada para determinar el peso unitario que es la relación entre el peso del suelo en estado suelto y el volumen ocupado por el mismo (Foto 30).



Foto 29: a) Muestra de suelo en recipiente de volumen conocido. b) Recipiente lleno.



Foto 30: a) Recipiente lleno. b) Enrasado c) Peso del recipiente con la muestra.



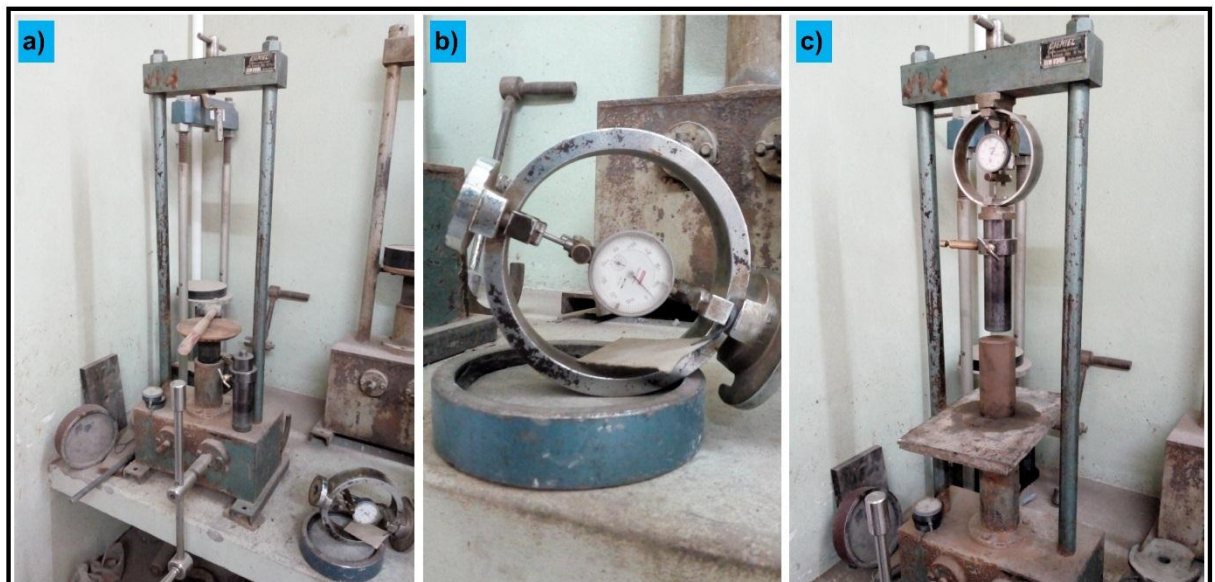
## 5.7. Ensayo de Compresión Simple

### 5.7.1. Instrumental de trabajo

- Dispositivo para compresión (Prensa hidráulica)
- Aro dinamométrico de 250 Kg o 500 Kg
- Flexímetros
- Balanza de capacidad 1 Kg
- Horno para secado de muestra con termostato para mantener temperatura a 110° C
- Extractor de muestras.
- Molde y equipo para compactar probetas

### 5.7.2. Procedimiento

Se tomaron los datos iniciales de la muestra: diámetro, altura. Se determinó el peso húmedo. y se colocó la muestra cilíndrica en el centro de la base del equipo de compresión (Foto 31). Se colocó un flexímetro en la base de la muestra y se ajustó a cero antes de iniciar el ensayo, de igual manera se ajustó a cero el flexímetro del aro dinamométrico. Para una prueba de deformación constante se aplicó a la muestra una velocidad de deformación de entre el 2% al 2,5% mínimo respecto al altura de la muestra. Se leyó el flexímetro correspondiente al anillo de carga a intervalos regulares de deformación continuándose el ensayo hasta que los valores de carga disminuyeron con el incremento de deformación, hasta que se obtuvieron 3 lecturas iguales consecutivas de carga y la muestra presentó fisuras. Se midió el ángulo de falla a fin de determinar el ángulo de fricción interna. Se volcaron los datos de deformación y carga en planilla de cálculo (Foto 32 y Foto 33).



**Foto 31: a) Prensa b) Aro calibrado para el tipo suelo c) Prensa con probeta y aro preparada para ensayar.**

### 5.7.3. Muestra a ensayar

- La muestra debe ser de forma cilíndrica con una relación altura-diámetro de 2 a 2,5
- La partícula de suelo más larga contenida en la muestra debe ser más pequeña que 1/10 del diámetro de la muestra.
- El diámetro mínimo de la muestra debe ser de 30 mm



Foto 32: a) Preparación y llenado de probeta b) Proceso de compactado c) Pesado y medición de la probeta.



Foto 33: a) Ejecución del ensayo en la prensa hidráulica; b) Rotura de la probeta y medición.





## CAPÍTULO V

# RESULTADOS ALCANZADOS

---

## 6. RESULTADOS ALCANZADOS

### 6.1. Estratigrafía

Los suelos explorados en el área de trabajo corresponden en su mayoría a suelos finos (limos, limos arenosos, limos arcillosos y arenas limosas finas) correspondientes a depósitos fluviales de baja energía y/o eólicos, los que pasan en profundidad a depósitos aluvionales en la vertiente occidental de la sierra de Fariñango (arenas medias limosas, arena limosa con grava, grava limosa, grava arenosa)

A partir de los sondeos exploratorios se dividió el Área de Trabajo en tres zonas con características geomecánicas propias: Zona Sur, Zona Central y Zona Norte.

### 6.2. Descripción Estratigráfica – Zona Sur

Zona Sur: la secuencia estratigráfica de este sector está compuesta por un manto de limo orgánico (OL) en un espesor de 0,20 a 0,30 m pasando en profundidad a una arena limosa fina (SM) y/o limos de baja compresibilidad (ML), los que presentan un estado de compacidad baja, y son de tipo colapsible, hasta la cota aproximadamente de – 3,00 m, luego a un suelo limo arcilloso de baja compresibilidad (ML-CL) compacto, el espesor de este estrato varía entre 1,00 a 2,00 metros, posteriormente y hasta la cota de exploración una arena media limosa medianamente densa.

PROFUNDIDAD (m)	Perfil del Suelo #1
0,30	
0,60	
0,90	
1,20	
1,50	
1,80	
2,10	
2,40	
2,70	
3,00	
3,30	
3,60	
3,90	
4,20	
4,50	
4,80	
5,10	
5,40	
5,70	
6,00	

#### Zona Sur - Sondeo N° 1

**0,00 m-0,30 m** - Limo orgánico de color marrón oscuro por la presencia de materia orgánica poco descompuesta (presencia de abundantes raíces)

**0,30m - 1,20m** - Arena limosa, color marrón claro, de baja plasticidad, medianamente densa.

**1,20m – 3,00m** - Limo inorgánico arenoso poco plástico, color pardo amarillento, de compacidad baja/media hasta profundidad de los tres metros y luego compacto.

**3,00m – 4,20m** - Limo arcilloso, compacto.

**4,20m – 6,00m** - Arena limosa media mal graduada, no plástica de color gris clara, medianamente densa.

PROFUNDIDAD (m)	Perfil del Suelo
0,30	
0,60	
0,90	
1,20	
1,50	
1,80	
2,10	
2,40	
2,70	
3,00	
3,30	
3,60	
3,90	
4,20	
4,50	
4,80	
5,10	
5,40	
5,70	
6,00	

PROFUNDIDAD (m)	Perfil del Suelo
0,30	
0,60	
0,90	
1,20	
1,50	
1,80	
2,10	
2,40	
2,70	
3,00	
3,30	
3,60	
3,90	
4,20	
4,50	
4,80	
5,10	
5,40	
5,70	
6,00	

### Zona Sur - Sondeo N° 2

**0,00m - 0,30m** - Limo orgánico de color marrón oscuro por la presencia de materia orgánica poco descompuesta (presencia de abundantes raíces)

**0,30m - 5,10m** - Limo inorgánico arenoso poco plástico, color pardo amarillento, de compacidad baja/media hasta profundidad de los tres metros y luego compacto.

**5,10m - 6,00m** - Arena limosa media mal graduada, no plástica de color gris clara, medianamente densa.

### Zona Sur - Sondeo N° 3

**0,00 m - 0,30 m** - Limo orgánico de color marrón oscuro por la presencia de materia orgánica poco descompuesta (presencia de abundantes raíces)

**0,30 m - 1,20 m** - Arena limosa, color marrón claro, de baja plasticidad, medianamente densa.

**1,20 m - 3,00 m** - Limo inorgánico arenoso poco plástico, color pardo amarillento, de compacidad baja/media hasta profundidad de los tres metros y luego compacto.

**3,00 m - 5,10 m** - Limo arcilloso, compacto.

**5,10 m - 6,00 m** - Arena limosa media mal graduada, no plástica de color gris clara.

PROFUNDIDAD (m)	Perfil del Suelo
0,30	
0,60	
0,90	
1,20	
1,50	
1,80	
2,10	
2,40	
2,70	
3,00	
3,30	
3,60	
3,90	
4,20	
4,50	
4,80	
5,10	
5,40	
5,70	
6,00	

### Zona Sur - Sondeo N° 4

**0,00m - 0,30m** -Limo orgánico de color marrón oscuro por la presencia de materia orgánica poco descompuesta (presencia de abundantes raíces)

**0,30m - 1,50m** - Arena limosa, color marrón claro, de baja plasticidad, medianamente densa.

**1,50m – 4,50m**- Limo inorgánico arenoso poco plástico, color pardo amarillento, de compacidad baja/media hasta profundidad de los tres metros y luego compacto.

**4,50m – 6,00m** -Arena limosa media mal graduada, no plástica de color gris clara, medianamente densa.

PROFUNDIDAD (m)	Perfil del Suelo
0,30	
0,60	
0,90	
1,20	
1,50	
1,80	
2,10	
2,40	
2,70	
3,00	
3,30	
3,60	
3,90	
4,20	
4,50	
4,80	
5,10	
5,40	
5,70	
6,00	

### Zona Sur - Sondeo N° 9

**0,00m - 0,30m** - Limo orgánico de color marrón oscuro por la presencia de materia orgánica poco descompuesta (presencia de abundantes raíces)

**0,30m - 5,10m** - Limo inorgánico arenoso poco plástico, color pardo amarillento, de compacidad baja/media hasta profundidad de los tres metros y luego compacto.

**5,10m – 6,00m** -Arena limosa media mal graduada, no plástica de color gris clara, medianamente densa.



PROFUNDIDAD (m)	Perfil del Suelo
0,30	
0,60	
0,90	
1,20	
1,50	
1,80	
2,10	
2,40	
2,70	
3,00	
3,30	
3,60	
3,90	
4,20	
4,50	
4,80	
5,10	

### Zona Sur - Sondeo N° 10

**0,00m - 0,30m** -Limo orgánico de color marrón oscuro por la presencia de materia orgánica poco descompuesta (presencia de abundantes raíces)

**0,30m - 4,20m** - Limo inorgánico arenoso poco plástico, color pardo amarillento, de compacidad baja/media hasta profundidad de los tres metros y luego compacto.

**4,20m – 5,10m** -Arena limosa media mal graduada, no plástica de color gris clara, medianamente densa.

### 6.3. Descripción Estratigráfica – Zona Central

La secuencia estratigráfica de este sector está compuesta por un manto de limo orgánico (OL) en un espesor de 0,20 a 0,30 m pasando en profundidad a una limo arenoso poco plástico de baja compresibilidad (ML), el que presenta un estado de compacidad baja a media, siendo de tipo colapsible, hasta la cota -1.20 en el sondeo 5 y en el sondeo 6 hasta la cota -2.40, luego a una arena limosa con algo de grava medianamente densa (SM), de un espesor de 1,00 metros, posteriormente y hasta la cota de exploración una grava arenolimsa media (GM).

PROFUNDIDAD (m)	Perfil del Suelo
0,30	
0,60	
0,90	
1,20	
1,50	
1,80	
2,10	
2,40	
2,70	
3,00	

### Zona Central - Sondeo N° 5

**0,00m - 0,30m** - Limo orgánico de color marrón oscuro por la presencia de materia orgánica poco descompuesta (presencia de abundantes raíces)

**0,30m - 1,20m** - Limo inorgánico arenoso poco plástico, color pardo amarillento, de compacidad baja/media.

**1,20m – 2,10m** - Arena limosa con gravas, color marrón claro, de baja plasticidad, medianamente densa.

**2,10m – 3,00m** – Grava areno limosa media mal graduada, densa.

PROFUNDIDAD (m)	Perfil del Suelo
0,30	
0,60	
0,90	
1,20	
1,50	
1,80	
2,10	
2,40	
2,70	
3,00	
3,30	
3,60	
3,90	
4,20	

### Zona Central - Sondeo N° 6

**0,00 m - 0,30 m** - Limo orgánico de color marrón oscuro por la presencia de materia orgánica poco descompuesta (presencia de abundantes raíces)

**0,30 m – 2,40 m** - Limo inorgánico arenoso poco plástico, color pardo amarillento, de compacidad baja/media.

**2,40 m – 3,30 m** - Arena limosa con gravas, color marrón claro, de baja plasticidad, medianamente densa.

**3,30 m – 4,20 m** - Grava areno limosa media mal graduada, densa.

PROFUNDIDAD (m)	Perfil del Suelo
0,30	
0,60	
0,90	
1,20	
1,50	
1,80	
2,10	
2,40	
2,70	
3,00	
3,30	
3,60	
3,90	
4,20	

### Zona Central - Sondeo N° 8

**0,00m - 0,30m** - Limo orgánico de color marrón oscuro por la presencia de materia orgánica poco descompuesta (presencia de abundantes raíces).

**0,30m – 2,10m** - Limo inorgánico arenoso poco plástico, color pardo amarillento, de compacidad baja/media.

**2,10m – 3,30m** - Arena limosa con gravas, color marrón claro, de baja plasticidad, medianamente densa.

**3,30m – 4,20m** - Grava areno limosa media mal graduada, densa.

#### 6.4. Descripción Estratigráfica – Zona Norte

La secuencia estratigráfica de este sector está compuesta por un manto de limo orgánico (OL) en un espesor de -0,30 m pasando en profundidad a una arena limosa media con grava (SM) hasta la cota -0,30 a -1,80 y -0,30 a -1,20 m la que presenta un estado de compactidad medianamente densa, luego a una grava limosa media hasta la cota -3,00 de exploración.

PROFUNDIDAD (m)	Perfil del Suelo
0,30	
0,60	
0,90	
1,20	
1,50	
1,80	
2,10	
2,40	
2,70	
3,00	

##### Zona Norte - Sondeo N° 7

**0,00 m - 0,30 m** - Limo orgánico de color marrón oscuro por la presencia de materia orgánica poco descompuesta (presencia de abundantes raíces)

**0,30 m - 1,80 m** - Arena limosa media mal graduada con gravas, no plástica de color gris clara, medianamente densa.

**1,80 m - 3,00 m** - Grava areno limosa media mal graduada, densa.

PROFUNDIDAD (m)	Perfil del Suelo
0,30	
0,60	
0,90	
1,20	
1,50	
1,80	
2,10	
2,40	

##### Zona Norte - Sondeo N° 11

**0,00 m - 0,30 m** - Limo orgánico de color marrón oscuro por la presencia de materia orgánica poco descompuesta (presencia de abundantes raíces)

**0,30 m - 1,20 m** - Arena limosa media mal graduada con gravas, no plástica de color gris clara, medianamente densa.

**1,20 m - 2,10 m** - Grava areno limosa media mal graduada, densa.

## PERFILES AREA DE TRABAJO CORTES OESTE – ESTE

De acuerdo a los lugares de muestreo seleccionados se estableció una correlación entre los sondeos de acuerdo a cada muestra tomada en profundidad, de este modo se pudieron establecer tres perfiles geológicos del área de estudio mostrando el comportamiento geotécnico.

**Perfil N° 1:** se ubica entre la zona Norte y Central. El Sondeo N° 7, más próximo a la sierra, está compuesto por suelos de tipo aluvional (Formación Coneta) constituido por arenas limosas con grava hasta 1,80 m de profundidad y luego gravas mal graduadas que representan una deposición caótica de alta energía. Mientras que en el sondeo N° 8, por encima de los suelos granulares se depositaron sedimentos finos limosos (Formación Paclín) en un espesor de dos metros (Figura 1).

**Perfil N° 2:** Se ubica entre la zona Central y Sur. El estrato de limo presenta un espesor variable aumentando de E-O (1,20 metros en el sondeo N° 5 a 4,20 metros en el sondeo N°10), pasando en profundidad a suelos granulares similares al Perfil N°1. (Figura 2).

**Perfil N° 3:** Se ubica en la zona Sur. En este perfil el estrato de suelo fino (arena limosa fina y limos) tiene una mayor potencia de 4,50 a 5,00 m pasando en profundidad a una arena media con algo de grava, observándose una disminución del contenido de gravas en sentido de Este a Oeste en el perfil (Figura 3).



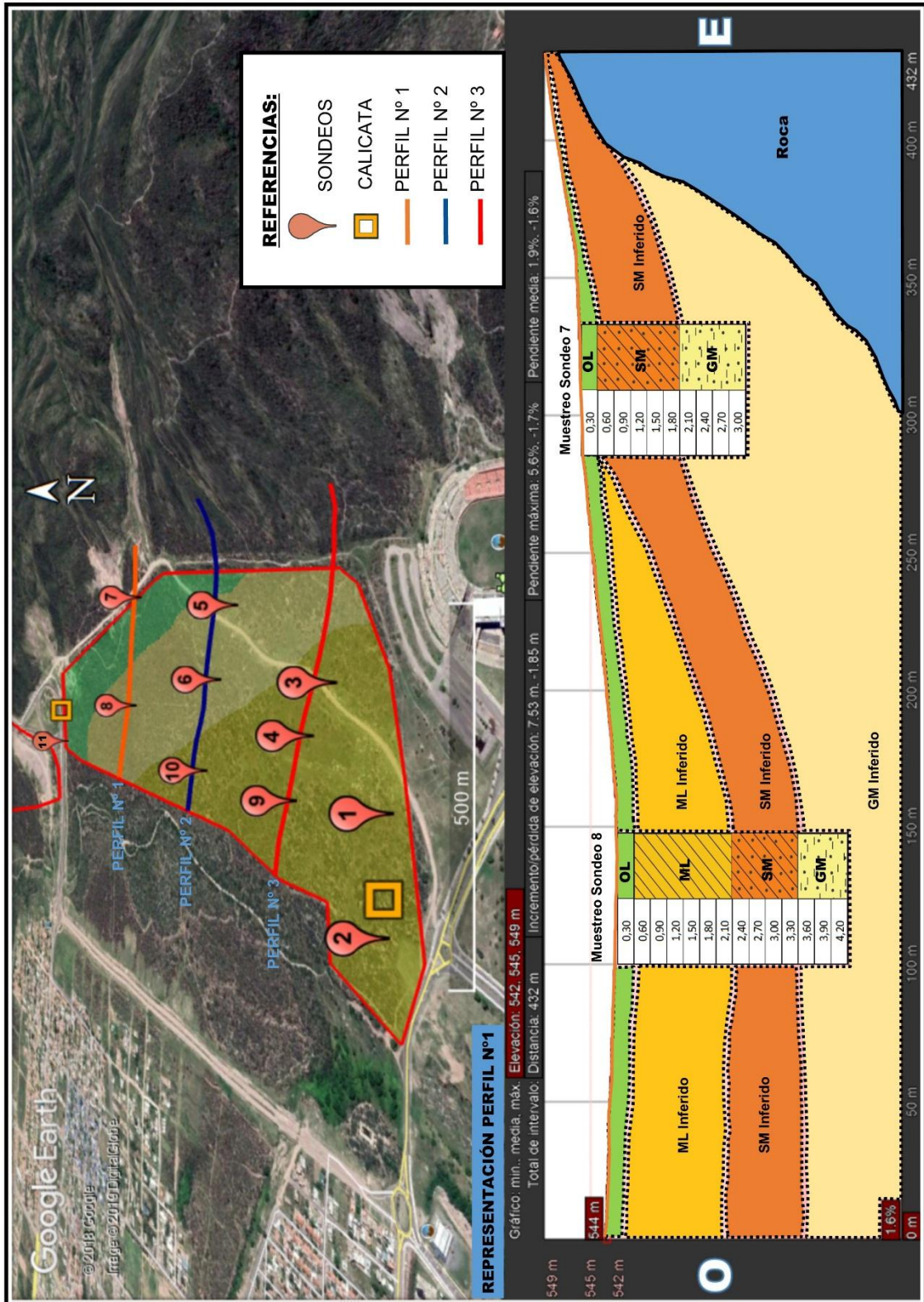


Figura 1: Perfil de la Zona Norte.



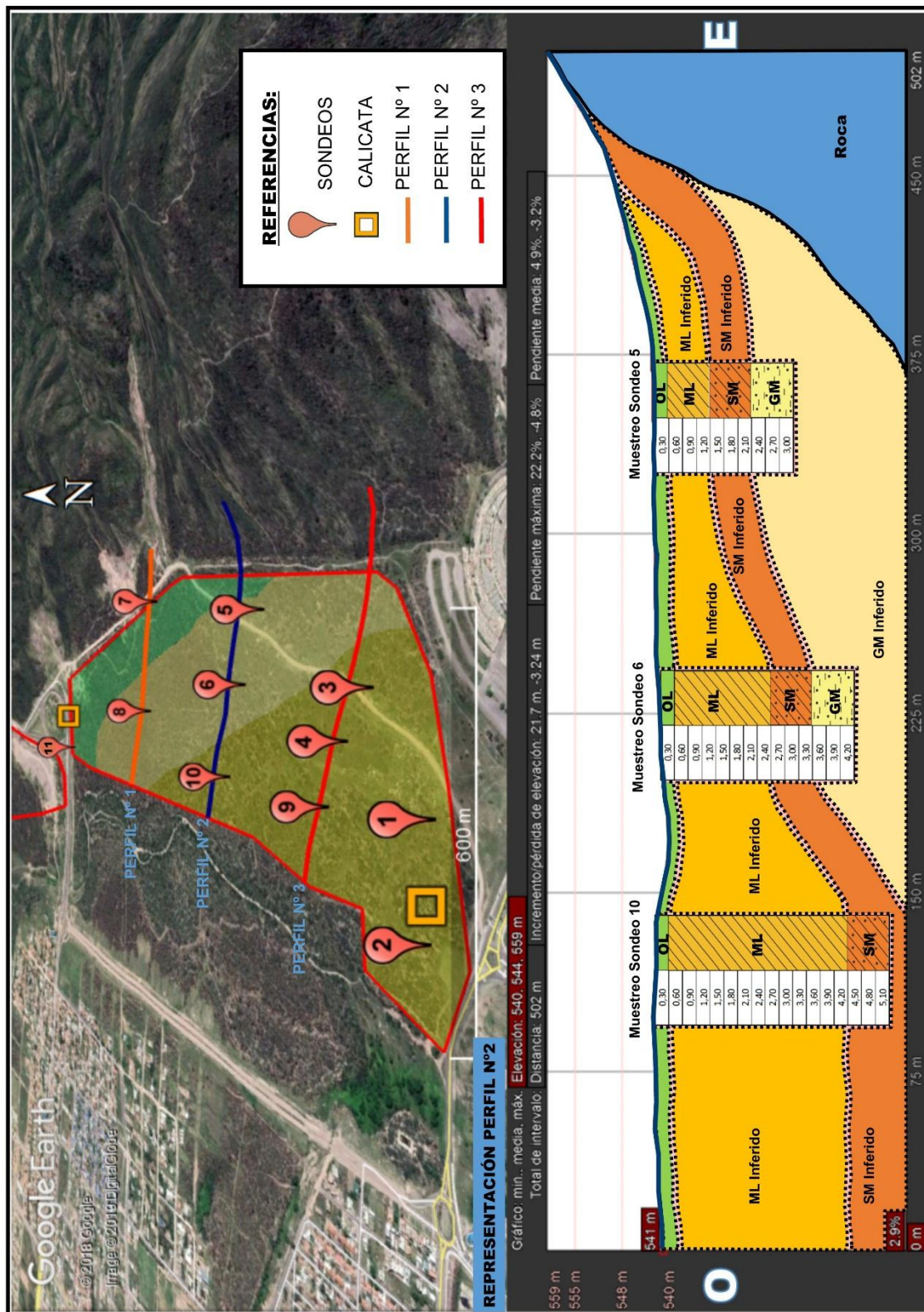


Figura 2: Perfil de la Zona Central.



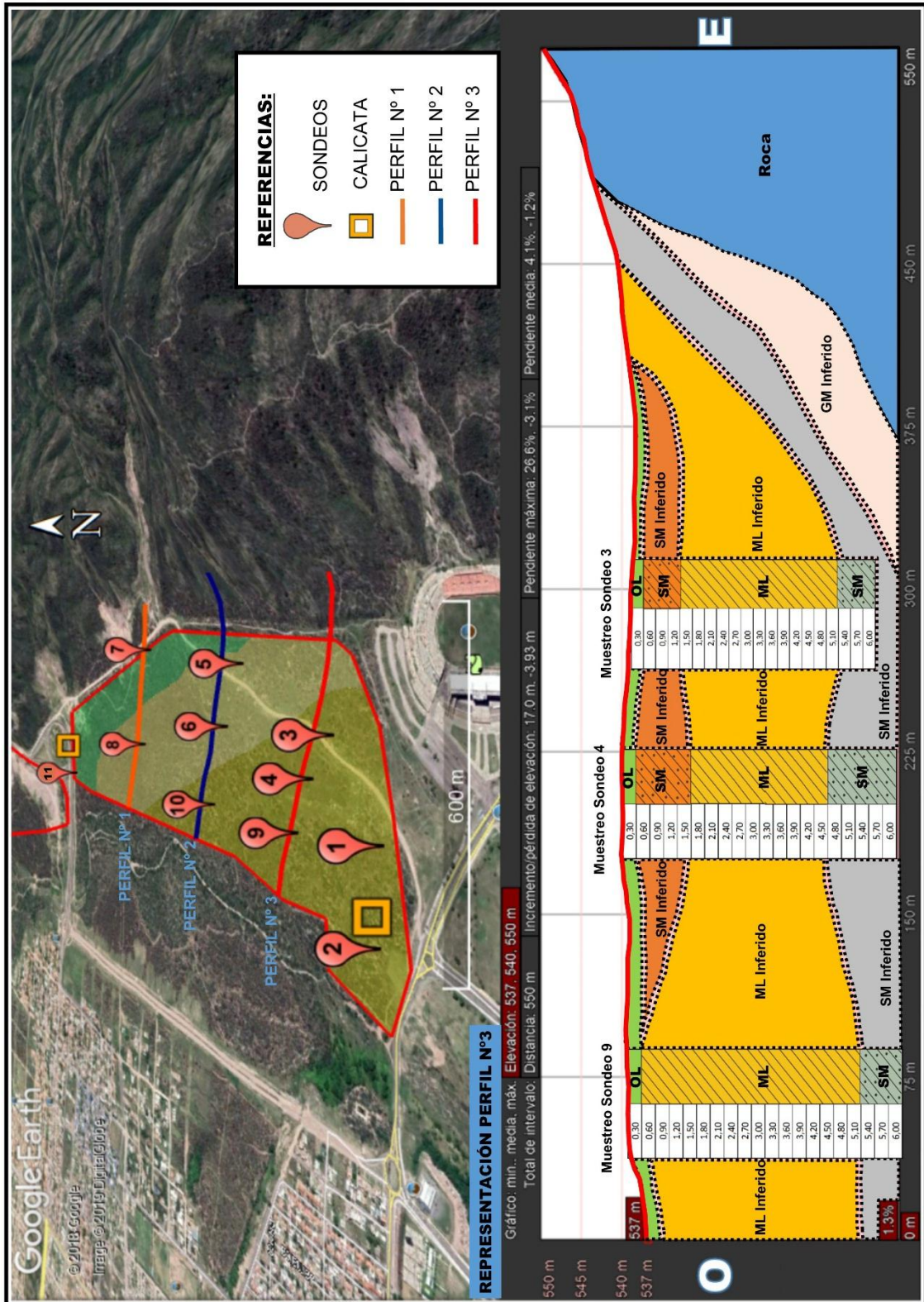


Figura 3: Perfil de la Zona Sur.

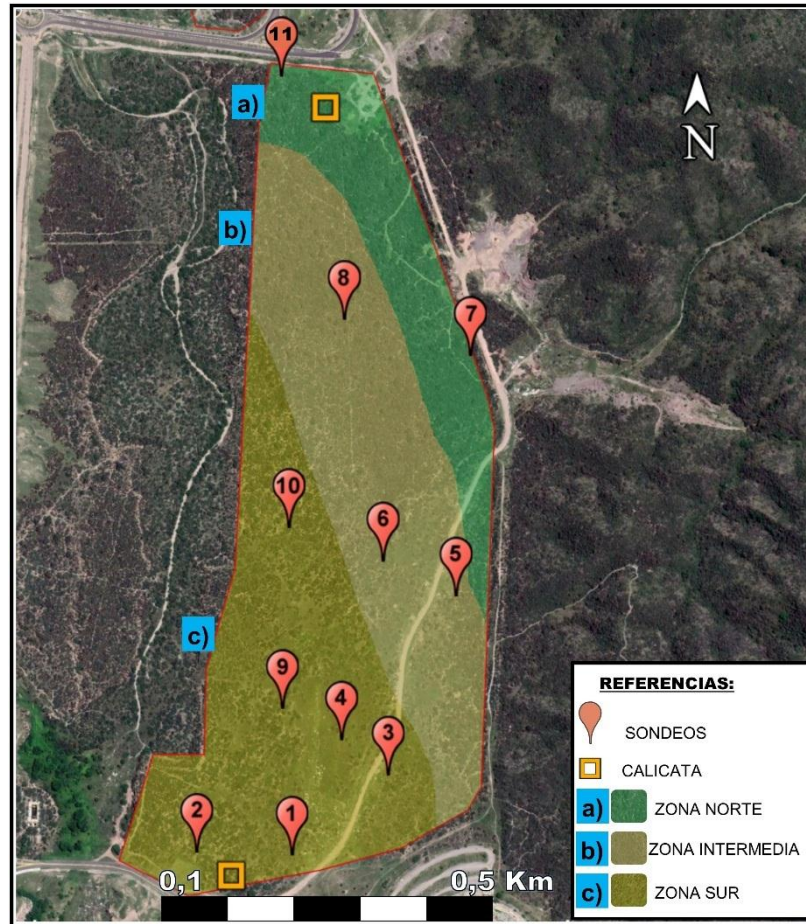


Imagen 28: Zonas con diferentes características geo mecánicas a) Zona Sur b) Zona Central c) Zona Norte. (Google Earth Pro, 2018).

## 6.5. Parámetros Geomecánicos – Zona Sur

### 6.5.1. Densidad Relativa según método de Cono de Arena

Los resultados de la compacidad en la calicata N°1 son de 0,30 a 1,00 limo de baja compresibilidad de compacidad del 47% y a la profundidad de 1,00 a 2,00 nuevamente limo inorgánico con una compacidad del 48,5% (Imagen 29).



CALICATA N° 1	Profundidad (m)	Clasificación	Compacidad (%)
	0,30- 1,00	ML	Medianamente Compacto 47,0%
1,00 -2,00	ML	Medianamente Densa 48,5 %	

*Imagen 29: Resultados de la Clasificación de suelos y compacidad de la calicata N°1.*

### 6.5.2. Densidad Relativa, calculada a partir del ensayo de Penetración Estándar, S.P.T.

En este sondeo se exploró limos de baja compresibilidad hasta la cota - 3,00 m con una compacidad blanda hasta - 1,00 m, luego medianamente compacta a con valores de S.P.T. 3, 5 y 7 golpes. Desde los 3,00 metros de profundidad hasta los 5,00 metros encontramos un limo arcilloso compacto con valores de S.P.T. de 10 y 11 golpes. A partir de los 5,00 metros un arena limosa medianamente densa con valores de S.P.T. de 12 golpes (Imagen 30).

Profundidad (m)	Clasificación	N° de Golpes	Compacidad (%)
0,30– 0,60	ML	3	Blanda
1,00 - 1,30	ML	5	Medianamente compacta
2,00 – 2,30	ML	7	Medianamente Compacta
3,00 - 3,30	ML-CL	10	Compacta
4,00 - 4,30	ML-CL	11	Compacta
5,00 - 5,30	SM	12	Medianamente Densa

*Imagen 30: Densidad relativa y penetración estándar.*

### 6.5.3. Angulo de fricción interna Ensayo S.P.T.

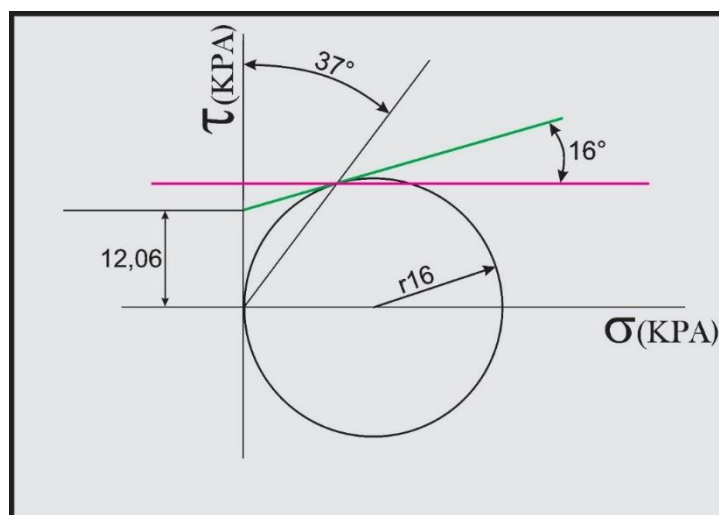
Se determinó para la arena limosa con un valor de S.P.T de 11 golpes y un Ángulo de fricción interna de 29° grados (Imagen 31).

Profundidad (m)	Clasificación	N° de Golpes	$\phi$ Ángulo de fricción interna
0,30 - 0,30	ML	3	-
1,00 - 1,30	ML	3	-
2,00 - 2,30	ML	5	-
3,00 - 3,30	ML-CL	7	-
4,00 - 4,30	ML-CL	10	-
5,00 - 5,30	SM	11	29°

Imagen 31: Ensayo S.P.T: Ángulo de fricción interna.

#### 6.5.4. Angulo de fricción interna Compresión Simple

Mediante la compresión simple se determinó el ángulo de fricción interna y cohesión para los suelos finos utilizando el círculo de Mohr con los valores obtenidos en los ensayos. (Imagen 32 y Imagen 33)



).

Imagen 32: Círculo de Mohr: Muestra ML – Profundidad 1-2 m.

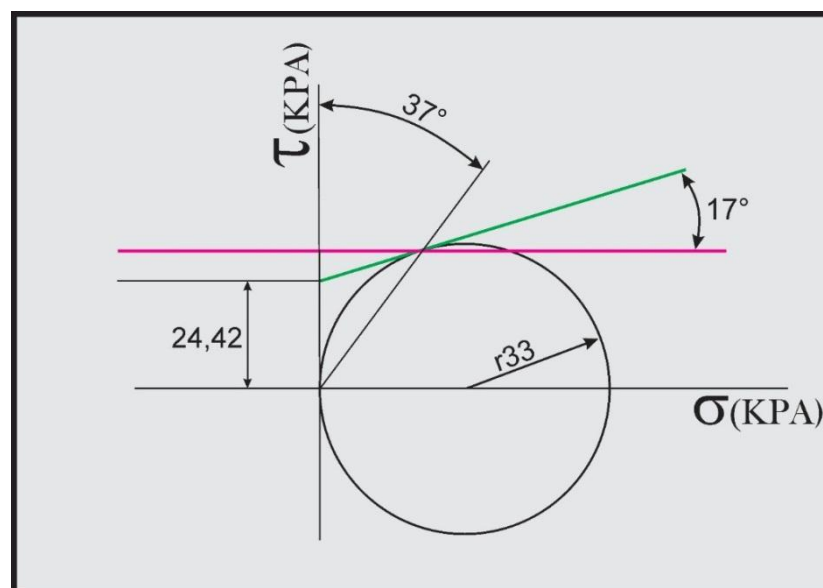


Imagen 33: Círculo de Mohr: ML-CL- Profundidad 3- 4m.

### 6.5.5. Capacidad de carga y tensión admisible en fundaciones y asentamientos en Zona Sur.

Para una fundación tipo superficial en suelo limoso (ML) con valores constantes de ancho de base de 0,5 metros, ángulo de fricción interna de 16° grados y cohesión de 1,2 Tn/m<sup>2</sup> y una variación de la profundidad de desplante de 1, 1,2 y 1,5 metros, las tensiones admisibles obtenidas son: 0,68, 0,74 y 0,78 kg/cm<sup>2</sup> (Imagen 34).

ZAPATA CORRIDA – SONDEO #2						
Suelo	Prof. Desplante (m)	Ancho de la base B (m)	Ángulo de Fricción Interna (°)	Cohesión c (Tn/m2)	Capacidad de Carga qc (Tn/m2)	Tensión Admisible σ (kg/cm2)
ML	1	0,5 m	16°	1,2	20,46	0,68
ML	1,2	0,5 m	16°	1,2	22,24	0,74
ML	1,5	0,5 m	16°	1,2	23,34	0,78

Imagen 34: Fundación superficial de Zapata corrida.

Para suelos con proporciones del 40% de arena limosa y considerando el mismo ángulo de fricción de 17° grados y una cohesión constante de 1,9 Tn/m<sup>2</sup> para todos los casos, y una profundidad de 3 m y un ancho de base de 1,5 m se obtiene una tensión admisible de 1,6 kg/cm<sup>2</sup>. De igual manera, para una profundidad de desplante de 3,5 m y considerando el mismo ángulo de fricción interna de 17° y cohesión de 1,9 Tn/m<sup>2</sup>, con un ancho de base de 1 y 1,5 m se obtiene la tensión admisible de 1,7 kg/cm<sup>2</sup> (Imagen 35).

ZAPATA CUADRADA - SONDEO #2						
SM <40%	Profundidad de desplante Df (m)	Ángulo de Fricción Interna ( $\phi$ )	Cohesión c (Tn/m <sup>2</sup> )	Ancho de la base B (m)	Capacidad de carga qc (Tn/m <sup>2</sup> )	Tensión Admisible $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	3	17°	1,9	1,5	49,71	1,6
	3,5	17°	1,9	1	51,8	1,7
	3,5	17°	1,9	1,5	52,8	1,7

*Imagen 35: Fundación semi profunda de Zapata Cuadrada.*

Para una misma profundidad de 5,50 m y diámetros de pilas de 0,80 y 1,00 m respectivamente, se obtuvo una tensión admisible de 22,33 Tn/m<sup>2</sup> con una carga admisible de 4,47 kg/cm<sup>2</sup> en un área de 0,50 m<sup>2</sup> y 35,32 Tn/m<sup>2</sup> de tensión en un área de 0,78 m<sup>2</sup> con una carga admisible de 4,53 kg/cm<sup>2</sup>. Considerando una profundidad de 6,00 m y un diámetro de pila de 0,80 y 1,00 m respectivamente, se obtuvieron tensiones admisibles de 24,25 y 38,31 Tn/m<sup>2</sup>, y cargas admisibles de 4,85 y 4,91 kg/cm<sup>2</sup> (Imagen 36).

Fundacion en Pilas				
Profundidad (Df)	Diámetro de Pila (m)	Carga admisible de la pila (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tension admisible de la pila (Tn/m <sup>2</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )
5,50	0,80	4,47	22,33	0,50
5,50	1,00	4,53	35,32	0,78
6,00	0,80	4,85	24,25	0,50
6,00	1,00	4,91	38,31	0,78

*Imagen 36: Fundación en Pilas.*

Para una profundidad de desplante progresiva de 1,00, 1,20 y 1,50 m sometidas a esfuerzos verticales de 0,68, 0,74 y 0,78 kg/m<sup>2</sup> respectivamente, se obtuvieron los siguientes valores en el caso de asentamiento inmediato (Se) 0,44, 0,48 y 0,53 cm junto con los de Asentamiento de consolidación (Sc) de 2,38, 2,59 y 2,73 cm a los que le corresponden valores de asentamiento total (St) de 2,38 3,07 y 3,26 cm (Imagen 37).

Tipo de fundación	Profundidad de desplante Df (m)	Esfuerzo vertical (kg/cm <sup>2</sup> )	Asentamiento inmediato Se(cm)	Asentamiento de Consolidación Sc (cm)	Asentamiento total St (cm)
Zapata corrida	1,00	0,68	0,44	2,38	2,83
	1,20	0,74	0,48	2,59	3,07
	1,50	0,78	0,53	2,73	3,26

*Imagen 37: Asentamientos de zapata corrida – Zona Sur.*



## 6.6. Parámetros Geomecánicos – Zona Sur

### 6.6.1. Densidad Relativa – Sondeo N° 6

En el Sondeo N° 6, desde una profundidad de 1,00 a 1,30 m se presentan limos (ML) de valores de S.P.T. de 8 golpes, con una compacidad medianamente compacta. De 2,00 a 2,30 m se encuentran nuevamente limos (ML) con un valor de 10 golpes y una compacidad medianamente densa. A partir de los 3,00 a 3,30 m, arena limosa (SM), con una compacidad medianamente densa y unos valores de S.P.T. de 12 golpes; finalmente de 4,00 a 4,30 m se tiene grava limosa (GM) con un valor de 14 golpes y una compacidad compacta (Imagen 38).

Profundidad (m)	Clasificación	N° de Golpes	Compacidad (%)
1,00 - 1,30	ML	8	Medianamente compacto
2,00 - 2,30	ML	10	Medianamente densa
3,00 - 3,30	SM	12	Medianamente densa
4,00 - 4,30	GM	14	Compacto

Imagen 38: Densidad Relativa - Sondeo 6.

### 6.6.2. Ensayo S.P.T. Sondeo N° 2 Ángulo de Fricción interna

El ángulo de fricción interna determinado mediante Ensayo SPT, en el Sondeo n° 2. A una profundidad de 3,30 m con presencia de arena limosa medianamente densa (SM) y un valor de 12 golpes se obtuvo un ángulo de fricción interna de 27°. A partir de los 4,00 hasta 4,30 m se observó grava limosa compacta (GM) con un valor de 14 golpes se obtuvo un ángulo de fricción interna de 29° ( Imagen 39).

Profundidad (m)	Clasificación	N° de Golpes	$\phi$ Ángulo de fricción interna
1,00 - 1,30	ML	8	-
2,00 - 2,30	ML	10	-
3,00 - 3,30	SM	12	27°
4,00 - 4,30	GM	14	29°

Imagen 39: Angulo de Fricción interna y cohesión.

### 6.6.3. Compresión Simple

Se determinó el ángulo de fricción interna dado por la intersección de la línea de rotura de la probeta (línea verde) con la horizontal (línea rosa) de esta proyección para obtener la cohesión de la muestra analizada (Imagen 40).

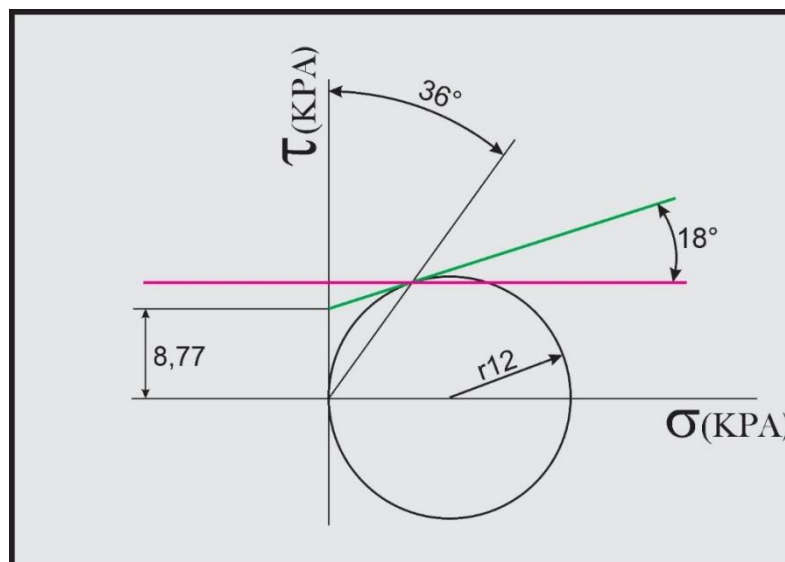


Imagen 40: Círculo de Mohr: Muestra 1: ML – Profundidad 1m.

### 6.6.4. Capacidad de carga y tensión admisible en fundaciones y asentamientos en zona intermedia.

Para una fundación tipo superficial en suelo limoso (ML) con valores constantes de ancho de base de 0,5 m, ángulo de fricción interna de 18° y cohesión de 0,87 Tn/m<sup>2</sup> se pudo establecer que para una profundidad de desplante de 1,0 y 1,2 metros las Capacidades de Carga son 19,39 y 20,72 Tn/m<sup>2</sup> respectivamente, a partir de las cuales se pudieron determinar las tensiones admisibles: 0,65, 0,70 kg/cm<sup>2</sup> (Imagen 411).

ZAPATA CORRIDA – SONDEO #6						
Suelo	Prof. Desplante (m)	Ancho de la base B (m)	Ángulo de Fricción Interna (°)	Cohesión c (Tn/m <sup>2</sup> )	Capacidad de Carga qc (Tn/m <sup>2</sup> )	Tensión Admisible σ (kg/cm <sup>2</sup> )
ML	1	0,5 m	18°	0,87	19,39	0,65
ML	1,2	0,5 m	18°	0,87	20,72	0,7

Imagen 41: Fundación superficial de Zapata corrida.

En suelos con proporciones de arenas limosa inferiores al 40% con el mismo ángulo de fricción de 27°, una cohesión de 0 Tn/m<sup>2</sup> para una profundidad de 2 metros con anchos de base de 1,00 y 1,50 m se pudo determinar una capacidad de carga de 43,58 y 48,21 Tn/m<sup>2</sup> respectivamente de las que se obtienen una tensión admisible de 1,5 y 1,6 kg/cm<sup>2</sup>. Para una profundidad de desplante de 3,5 metros y considerando con los mismos ángulos de fricción interna de 17° y cohesión de 1,9 Tn/m<sup>2</sup>, con un ancho de base de 1 y 1,5 m se

obtuvo una capacidad de carga de 52,2 y 56,8 Tn/m<sup>2</sup> respectivamente, además de una tensión admisible de 1,7 y 1,9 kg/cm<sup>2</sup> (Imagen 422).

ZAPATA CUADRADA - SONDEO #6						
SM <40%	Profundidad de desplante Df (m)	Ángulo de Fricción Interna (φ)	Cohesión c (Tn/m <sup>2</sup> )	Ancho de la base B (m)	Capacidad de carga qc (Tn/m <sup>2</sup> )	Tensión Admisible σ(kg/cm <sup>2</sup> )
	2,00	27°	0	1,00	43,58	1,5
	2,00	27°	0	1,50	48,21	1,6
	2,50	27°	0	1,00	52,2	1,7
	2,50	27°	0	1,50	56,8	1,9

*Imagen 42: Fundaciones semiprofunda Zapata Cuadrada.*

Los asentamientos en Zapata corrida a las profundidades de desplante de 1,00 y 1,20 metros, sometidos a esfuerzos verticales de 0,65 y 0,70 kg/m<sup>2</sup> se obtuvieron los siguientes valores en el caso del asentamiento inmediato (Se) de 0,44 y 0,48 cm junto con los asentamientos de consolidación (Sc) de 2,27 y 2,45 cm consecutivamente a los que les corresponde un valor de asentamiento total (St) de 2,38 3,07 y 3,26 cm estos valores no se corresponden con la Tabla. (Imagen 433).

Tipo de fundación	Profundidad de desplante Df (m)	Esfuerzo vertical (kg/cm <sup>2</sup> )	Asentamiento inmediato Se(cm)	Asentamiento de Consolidación Sc (cm)	Asentamiento total ST (cm)
Zapata corrida	1,00	0,65	0,44	2,27	2,71
	1,20	0,70	0,48	2,45	2,93

*Imagen 43: Asentamiento en zapata corrida - zona intermedia.*

## 6.7. Parámetros Geomecánicos – Zona Norte

### 6.7.1. Compacidad

Considerando la calicata N° 2, se pudo establecer a una profundidad de 0,30 m la presencia de limo inorgánico (ML) con una compacidad del 46,5% y a la profundidad de 0,30 a 1,00 m la litología está representada por arena limosa (SM) una compacidad del 65,7% (Imagen 444).

CALICATA Nº2	Profundidad	Clasificación	Compacidad
	(m)		(%)
	0,00- 0,30	ML	Medianamente Compacto  46,5%
	0,30 -1,00	SM	Medianamente Densa  65,7%

Imagen 44: Clasificación de suelos y compacidad de la calicata N°1.

### 6.7.2. Ángulo de Fricción (Según Chenn):

Se determinó usando la fórmula para suelos incongruentes de Chenn, siendo el resultado el Angulo de fricción interna ( $\Phi$ ) de la adision de la compacidad ( $\Phi_1$ ), forma y rugosidad de los granos ( $\Phi_2$ ), tamaño de los granos ( $\Phi_3$ ), distribución granulométrica ( $\Phi_4$ ) y el valor constante de  $36^\circ$  con la cual permitió saber que para suelos con presencia de arena limosa (SM), el Ángulo de fricción interna es de  $31^\circ$  y para gravas limosas (GM)  $34^\circ$ .

$$\Phi = 36^\circ + \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4$$

**Suelo SM:**

$$\Phi = 31^\circ$$

**Suelo GM:**

$$\Phi = 34$$

### 6.7.3. Fundación Zapata Cuadrada

Para suelos con proporciones del 40% de arena limosa y considerando el mismo ángulo de fricción de  $34^\circ$  grados y una cohesión constante de  $0 \text{ Tn/m}^2$  para todos los casos, una profundidad de 1,00 m y un ancho de base de 0,80 y 1,00 m se obtiene una capacidad de carga de 75,00 y  $81,24 \text{ Tn/m}^2$  reespectivamente del cual se pudieron obtener las tensiones admisibles de 2,50 y  $2,70 \text{ kg/cm}^2$ . De igual manera para una profundidad de desplante de 1,20 m y considerando los mismos ángulos de fricción interna de  $34^\circ$  y cohesión de  $0 \text{ Tn/m}^2$ , y también un ancho de base de 0,80 y 1,00 m se determinaron las capacidades de carga de 85,01 y  $91,25 \text{ Tn/m}^2$  reespectivamente y con una tensión admisible de 2,83 y  $3,04 \text{ kg/cm}^2$  (Imagen 455).



ZAPATA CUADRADA - SONDEO #7						
SM <40%	Profundidad de desplante Df (m)	Ángulo de Fricción Interna ( $\phi$ )	Cohesión c (Tn/m <sup>2</sup> )	Ancho de la base B (m)	Capacidad de carga qc (Tn/m <sup>2</sup> )	Tensión Admisible $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	1,00	34°	0	0,80	75,00	2,50
	1,00	34°	0	1,00	81,24	2,70
	1,20	34°	0	0,80	85,01	2,83
	1,20	34°	0	1,00	91,25	3,04

*Imagen 45: Fundación en zapata cuadrada.*



## CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

## 7. CONCLUSIONES

- De acuerdo a la interpretación de los datos obtenidos en ambos sectores estudiados por cada tesista se logró separar el área trabajo en tres zonas con características geotécnicas propias.
- Las mismas están conformadas por una secuencia limosa-arenosa fina en la parte superior de espesor variable siendo la zona sur la de mayor potencia y la zona norte casi inexistente, estos suelos poseen superficialmente una compacidad baja por lo que se los considera colapsibles, pasando en profundidad a suelos granulares: gravas y arenas medias densas a medianamente densas las que se encuentran mejor representados en la zona norte.
- En los suelos finos el mecanismo de resistencia al corte está regido por la acción cohesiva de la fracción fina y por la fricción intergranulares de los granos de arena, en los granulares por el ángulo de fricción interna y la compacidad de los mismos. Los valores se determinaron en los primeros mediante prueba de compresión simple a deformación controlada y en los segundos se estimó a partir de los ensayos de penetración dinámica aplicando la fórmula de Kishida para los suelos arenosos y para las gravas a través del Criterio de Chenn para suelos incoherentes.
- En este trabajo analizamos tres alternativas de fundación: la primera, una fundación superficial zapata corrida desplantada en el suelo (ML) limo de baja compresibilidad el que es colapsible para los sectores Sur y Central, la segunda fundación semi profunda en una zapata o base cuadrada desplantada en el suelo limo arcilloso de baja compresibilidad (ML-CL) en el Sector Sur, en una arena limosa con grava (SM) en el sector central y una grava limosa (GM) en el Sector Norte y la tercera fundación profunda mediante pilas en una arena media limosa (SM) en el Sector sur.
- La tensión admisible para zapata corrida en zona sur es de cota -1,00m y -1,50m varía entre 0,68 a 0,78 kg/cm<sup>2</sup>, en zona central es de cota -1,00 y -1,20m varía entre 0,65 a 0,70 kg/cm<sup>2</sup>. Para zapata en zona sur cuadrada entre las cotas -3,00 y -3,50m varía entre 1,60 a 1,70 kg/cm<sup>2</sup>, en zona central en las cotas -2,00 y -2,50m varía entre 1,50 a 1,90 kg/cm<sup>2</sup>, en zona norte en las cotas -1,00 y 1,20m varía entre 2,50 a 3,04 kg/cm<sup>2</sup> y para zona sur fundación en pilas en las cotas -5,50 y 6,00m varía entre 4,47 a 4,91 kg/cm<sup>2</sup>.

- Los asentamientos calculados para la zapata corrida con los valores de tensión admisibles son inferiores a los límites establecidos por Terzaghi, Skempton, Burland, siempre que no se produzca un cambio brusco en el contenido de humedad.
- De acuerdo a los ensayos efectuados se comprobó la ausencia de sales totales y sulfatos que es un agente nocivo para los hormigones.
- Conforme a la evaluación de los resultados, la compacidad relativa del sub suelo aumenta a profundidad por lo que podemos inferir que la resistencia al corte varia en el mismo sentido.
- Los suelos explorados presentan un comportamiento malo como medio de cimentación en la parte superior del perfil de las zonas sur y central (suelos colapsibles), y un comportamiento regular a bueno para la inferior y la zona norte.
- Hasta la cota de exploración no se encontró el nivel freático.

## 8. RECOMENDACIONES

- Se debe evitar pérdidas en la red de agua y sanitaria para prevenir algún tipo de asentamiento especialmente en el suelo limoso.
- El tipo y cota de fundación queda al criterio del proyectista, se sugiere fundación en zapata o base cuadrada o bien pilas.
- Si se utiliza una fundación superficial el peso de la construcción debe ser liviana.
- Al ser el área de trabajo muy extensa, al proyectar las distintas construcciones en el futuro se debe densificar la cantidad de sondeos.
- Idear una cortina de viento vegetal que se adapte a las condiciones climáticas de la zona.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Celentano, G. (2012). *Clasificación de Suelos*. Buenos Aires: Universidad Católica Argentina.
- Cimentaciones Superficiales. (2011). *Ingeniería Geotécnica*. Cataluña.
- Elwerson. (s.f.). *Practica de Analisis Granulometrico*. Recuperado el 2019, de <https://es.scribd.com/document/335235113/Practica-N-2-Analisis-Granulometrico-por-Tamizado-pdf>
- Eulalio Juarez Badillo, A. R. (1996). *Mecánica de Suelos Tomo I*. México: Limusa Noriega Editores.
- Eulalio Juarez Badillo, A. R. (1996). *Mecánica de Suelos Tomo II*. Mexico: Limusa Noriega Editores.
- Hurtado, J. E. (s.f.). *Diseño de Cimentaciones*. Peru: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Leoni, A. J. (2010). *Parametrización de Suelos Mediante Ensayos in Situ*. Buenos Aires: Facultad de Ingeniería U.N.L.P.
- LLano, J. J. (1975). *Mecánica de Suelos*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, S.A.
- Menardi, R. E. (2003). *Determinación in situ de propiedades ingenieriles de los suelos y su relación con el ensayo normal de penetración*. Buenos Aires.
- Universidad Nacional del Altiplano. (s.f.). *Informe de compresion simple*. Recuperado el 2019, de <https://www.slideshare.net/CALIQH/informe-compresion-simple-para-s-cdocx-70803302>
- Vera, C. J. (2001). *Estudio Geotécnico del puente del Rio del Valle - Av. Juan Chelemín*. San Fernando del Valle de Catamarca.
- Wikipedia. (s.f.). *Ensayo de compactación Proctor*. Recuperado el 2019, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo\\_de\\_compactaci%C3%B3n\\_Proctor](https://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_de_compactaci%C3%B3n_Proctor)
- Wikipedia. (s.f.). *Sistema Unificado de Clasificación de Suelos*. Recuperado el 2019, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_Unificado\\_de\\_Clasificaci%C3%B3n\\_de\\_Suelos](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Unificado_de_Clasificaci%C3%B3n_de_Suelos)
- William T. Lambe, R. V. (1997). *Mecánica de Suelos*. En T. L. Whitman, *Mecánica de Suelos* (pág. 299). México: LIMUSA. Noriega editores.



Zeevaert, L. (1980). *Interacción Suelo - Estructura de Cimentación*. México: Limusa.

### **Software**

(Google Earth Pro, 2018)

(Corel Draw X8)

(Microsoft Publisher 2013)



## **ANEXOS**

---

# Granulometría del Sondeo 1

GRANULOMETRIAS											
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA											
COORDENADAS: S 28°26'41.55" - W 65°45' 24.46"											
SONDEO #1											
Profundidad = 0,20 - 0,80		Profundidad = 0,80 - 1,50		Profundidad = 1,50 - 3,00		Profundidad = 3,00 - 4,00		Profundidad = 4,00 - 5,00		Profundidad = 5,00 - 6,00	
Humedad = 3,5		Humedad = 4,8		Humedad = 7,4		Humedad = 2,9		Humedad = 1,9		Humedad = 1,3	
Gramos:	1.000	Gramos:	1.000	Gramos:	1.000	Gramos:	1.000	Gramos:	1.000	Gramos:	1.000
#	R/P	#	R/P	#	R/P	#	R/P	#	R/P	#	R/P
Nº4	996	100,0	0	100,0	14	986	98,6	Nº4	996	99,6	99,6
Nº10	12	4	1.000	6	30	956	94,3	Nº10	56	90	90
Nº40	984	99,6	994	99,4	48	272	66,5	Nº40	940	93,6	906
Nº200	742	73,9	942	94,2	908	89,5	300	218	668	66,5	520
	484	350	192	75,0	676	66,7	368	302	300	36,7	302
	258	606	750	60,6							
<b>Clasificación: SM</b>		<b>Clasificación: ML</b>		<b>Clasificación: ML</b>		<b>Clasificación: ML-CL</b>		<b>Clasificación: SM</b>		<b>Clasificación: SM</b>	



## Granulometría del Sondeo 2

GRANULOMETRIAS													
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA													
COORDENADAS: S 28°26' 40.92" - W 65°45' 29.76"													
SONDEO #2													
Profundidad (m) = 0,30 - 1,00		Profundidad (m) = 1,00 - 2,00		Profundidad (m) = 2,00 - 3,00		Profundidad (m) = 3,00 - 4,00		Profundidad (m) = 4,00 - 5,00		Profundidad (m) = 5,00 - 6,00			
Humedad (%) = 3,5		Humedad (%) = 6,6		Humedad (%) = 7,2		Humedad (%) = 6,1		Humedad (%) = 5,1		Humedad (%) = 4			
Gramos:	1.000	R/P	%	Gramos:	1.000	R/P	%	Gramos:	1.000	R/P	%		
#	0			#	0			#	0				
Nº4	1.000	0	100,0	Nº4	1.000	0	100,0	Nº4	1.000	0	100,0		
Nº10	2			Nº10	2			Nº10	2				
Nº40	998	102	99,8	Nº40	998	14	99,8	Nº40	998	12	99,8		
Nº200	896	466	89,6	Nº200	984	182	98,4	Nº200	986	192	98,6		
	430		43,0		802		80,2		794		79,4		
Clasificación: SM			Clasificación: ML			Clasificación: ML-CL			Clasificación: ML-CL			Clasificación: ML	

# Granulometría del Sondeo 3

GRANULOMETRIAS																			
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA																			
COORDENADAS: S 28°26' 37.24" - W 65°45' 19.22"																			
SONDEO #3																			
Profundidad (m) = 0,20 - 1,00			Profundidad (m) = 1,00 - 2,00			Profundidad (m) = 2,00 - 3,00			Profundidad (m) = 3,00 - 4,00			Profundidad (m) = 4,00 - 5,00			Profundidad (m) = 5,00 - 6,00				
Humedad (%) = 6,7			Humedad (%) = 7,5			Humedad (%) = 6,5			Humedad (%) = 5,2			Humedad (%) = 5,4			Humedad (%) = 2,4				
Gramos:	1.000	R/P	%	Gramos:	1.000	R/P	%	Gramos:	1.000	R/P	%	Gramos:	1.000	R/P	%	Gramos:	1.000	R/P	%
#				#				#				#				#			
1"	1.000	0	100,0	1"	1.000	0	100,0	1"	1.000	0	100,0	1"	1.000	0	100,0	1"	1.000	0	100,0
3/8"	1.000	0	100,0	3/8"	1.000	0	100,0	3/8"	1.000	0	100,0	3/8"	1.000	0	100,0	3/8"	1.000	0	100,0
Nº4	1.000	0	100,0	Nº4	1.000	0	100,0	Nº4	1.000	0	100,0	Nº4	1.000	0	100,0	Nº4	1.000	0	100,0
Nº10	1.000	0	100,0	Nº10	998	2	99,8	Nº10	990	8	98,8	Nº10	990	0	98,0	Nº10	966	24	95,6
Nº40	1.000	10	99,0	Nº40	966	32	96,6	Nº40	926	64	92,4	Nº40	820	170	81,2	Nº40	808	158	80,0
Nº200	228	198	76,2	Nº200	198	232	76,8	Nº200	232	694	69,3	Nº200	196	272	61,8	Nº200	272	536	53,1
	762	768	76,8		768	694	69,3		624	624	61,8		536	536	53,1		308	308	24,0
Clasificación: SM			Clasificación: ML			Clasificación: ML			Clasificación: ML			Clasificación: ML			Clasificación: SM				

# Granulometría del Sondeo 4

GRANULOMETRIAS																			
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA																			
COORDENADAS: S 28°26' 35.54" - W 65°45' 21.74"																			
SONDEO #4																			
Profundidad (m) = 0,20 - 1,40			Profundidad (m) = 1,40 - 2,00			Profundidad (m) = 2,00 - 3,00			Profundidad (m) = 3,00 - 4,00			Profundidad (m) = 4,00 - 5,00			Profundidad (m) = 5,00 - 6,00				
Humedad (%) = 1,9			Humedad (%) = 6,2			Humedad (%) = 8,2			Humedad (%) = 6,5			Humedad (%) = 4,6			Humedad (%) = 6,2				
Gramos:	1.000	R/P	%	Gramos:	1.000	R/P	%	Gramos:	1.000	R/P	%	Gramos:	1.000	R/P	%	Gramos:	1.000	R/P	%
#				#				#				#				#			
2"	1.000		100,0	2"				2"				2"				2"			
	90																		
1 ½"	910		91,0	1 ½"	1.000		100,0	1 ½"				1 ½"				1 ½"			
	0				0				0				0				0		
1"	1.000		100,0	1"				1"				1"				1"			
	0				1.000		100,0		1.000		100,0		1.000		100,0		1.000		100,0
¾"	0			¾"				¾"				¾"				¾"			
	1.000		100,0		1.000		100,0		1.000		100,0		1.000		100,0		1.000		100,0
	0				0				0				0				0		
3/8"	1.000		100,0	3/8"				3/8"				3/8"				3/8"			
	0				1.000		100,0		1.000		100,0		1.000		100,0		1.000		100,0
Nº4	4			Nº4				Nº4				Nº4				Nº4			
	995		99,6		1.000		100,0		1.000		100,0		1.000		100,0		992		99,2
Nº10	36			Nº10	2			Nº10	6			Nº10	22			Nº10	68		1000,0
	960		95,6		998		99,8		994		99,4		994		99,4		970		96,2
Nº40	362			Nº40	34			Nº40	66			Nº40	168			Nº40	424		42,8
	598		59,6		964		96,4		928		92,8		932		93,2		802		79,6
	428				314				222				246				384		296
Nº200	170		16,9	Nº200	650		65,0	Nº200	706		70,6	Nº200	686		68,6	Nº200	418		41,5
Clasificación: SM			Clasificación: ML			Clasificación: ML			Clasificación: ML			Clasificación: SM			Clasificación: SM				

## Granulometría del Sondeo 5

GRANULOMETRIAS											
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA											
COORDENADAS: S 28°26' 28.64" - W 65°45' 15.45"											
SONDEO #5											
Profundidad (m) = 0,20 - 1,00			Profundidad (m) = 1,00 - 1,50			Profundidad (m) = 1,50 - 3,00					
Humedad (%) = 3,3			Humedad (%) = 2,5			Humedad (%) = 6,2					
Gramos:	1.000	%	Gramos:	7.253	%	Gramos:	7.590	%	Gramos:	#	%
#	R/P		#	R/P		#	R/P		#	R/P	
2"	0	100,0	2"	0	100,0	2"	450	94,1	2"	450	
	1.000			7.253			7.140			7.140	
1 1/2"	0	100,0	1 1/2"	0	100,0	1 1/2"	320	89,9	1 1/2"	320	
	1.000			7.253			6.820			6.820	
1"	0	100,0	1"	0	100,0	1"	525	82,9	1"	525	
	1.000			7.253			6.295			6.295	
3/4"	0	100,0	3/4"	0	100,0	3/4"	405	77,6	3/4"	405	
	1.000			7.253			5.890			5.890	
3/8"	0	100,0	3/8"	120	98,3	3/8"	1.205	61,7	3/8"	1.205	
	1.000			7.133			4.685			4.685	
Nº4	0	100,0	Nº4	102	96,9	Nº4	1.475	42,3	Nº4	1.475	
	1.000			7.031			3.210			3.210	
Nº10	14	1000,0	Nº10	42	1000,0	Nº10	150	1000,0	Nº10	150	
	986	98,6		958	92,9		850	35,9		850	
Nº40	126	86,0	Nº40	214	72,1	Nº40	324	22,2	Nº40	324	
	860			744			526			526	
Nº200	274	58,6	Nº200	346	38,6	Nº200	214	13,2	Nº200	214	
	586			398			312			312	
<b>Clasificación: ML</b>			<b>Clasificación: SM</b>			<b>Clasificación: GM</b>					



## Granulometría del Sondeo 6

GRANULOMETRIAS											
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA											
COORDENADAS: S 28°26' 26.93" - W 65°45' 19.39"											
SONDEO #6											
Profundidad (m) = 0,20 - 1,00			Profundidad (m) = 1,00 - 180			Profundidad (m) = 180 - 3,00			Profundidad (m) = 3,00 - 4,00		
Humedad (%) = 5,5			Humedad (%) = 4,8			Humedad (%) = 3,5			Humedad (%) = 1,5		
Gramos:	1.000	%	Gramos:	1.000	%	Gramos:	9.538	%	Gramos:	9.365	%
#	R/P		#	R/P		#	R/P		#	R/P	
2"	0	100,0	2"	0	100,0	2"	0		2"	820	91,2
	1.000			1.000			9.538			8.545	
1 ½"	0	100,0	1 ½"	0	100,0	1 ½"	221		1 ½"	600	84,8
	1.000			1.000			9.317	97,7		7.945	
1"	0	100,0	1"	0	100,0	1"	259		1"	595	78,5
	1.000			1.000			9.058	95,0		7.350	
¾"	0	100,0	¾"	0	100,0	¾"	80		¾"	305	75,2
	1.000			1.000			8.978	94,1		7.045	
3/8"	0	100,0	3/8"	0	100,0	3/8"	391		3/8"	1.220	62,2
	1.000			1.000			8.587	90,0		5.825	
Nº4	0	100,0	Nº4	0	100,0	Nº4	307		Nº4	1.810	42,9
	1.000			1.000			8.280	86,8		4.015	
Nº10	6	1000,0	Nº10	13	1000,0	Nº10	76	1000,0	Nº10	148	1000,0
	994	99,4		987	98,7		924	80,2		852	36,5
Nº40	44	95,0	Nº40	72	91,5	Nº40	242		Nº40	346	21,7
	950			915			682	59,2		506	
Nº200	264	68,6	Nº200	307	60,8	Nº200	276		Nº200	222	12,2
	686			608			406	35,2		284	
Clasificación: ML			Clasificación: ML			Clasificación: SM			Clasificación: GM		

## Granulometría del Sondeo 7

GRANULOMETRIAS									
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA									
COORDENADAS: S 28°26' 17.17" - W 65°45' 14.55"									
SONDEO #7									
Profundidad (m) = 0,20 - 1,00					Profundidad (m) = 1,00 - 3,00				
Humedad (%) = 4,2					Humedad (%) = 1,8				
Gramos:	9.581				Gramos:	11.770			
#	R/P	%			#	R/P	%		%
2"	0	100,0			2"	3.575	69,6		
	9.581					8.195			
1 1/2"	693				1 1/2"	1.260			
	8.888	92,8				6.935	58,9		
1"	330				1"	1.495			
	8.558	89,3				5.440	46,2		
3/4"	402				3/4"	370			
	8.156	85,1				5.070	43,1		
3/8"	664				3/8"	570			
	7.492	78,2				4.500	38,2		
Nº4	417				Nº4	875			
	7.075	73,8				3.625	30,8		
Nº10	110	1000,0			Nº10	124	1000,0		
	890	65,7				876	27,0		
Nº40	282				Nº40	304			
	608	44,9				572	17,6		
Nº200	252				Nº200	307			
	356	26,3				265	8,2		
<b>Clasificación: SM</b>					<b>Clasificación: GP-GM</b>				

# Granulometría del Sondeo 8

GRANULOMETRIAS														
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA														
COORDENADAS: S 28°26'10.86" - W 65°45'17.08"														
SONDEO #8														
Profundidad (m) = 0,20 - 1,00			Profundidad (m) = 1,00 - 2,00			Profundidad (m) = 2,00 - 3,00			Profundidad (m) = 3,00 - 4,00					
Humedad (%) = 7,2			Humedad (%) = 7,1			Humedad (%) = 4,3			Humedad (%) = 4,8					
Gramos:	1.000	%	Gramos:	1.000	%	Gramos:	10.748	%	Gramos:	5.025	%			
#	R/P		#	R/P		#	R/P		#	R/P				
2"	0	100,0	2"	0	100,0	2"	301	97,2	2"	1.205	76,0			
	1.000			1.000			10.447			3.820				
1 ½"	0	100,0	1 ½"	0	100,0	1 ½"	288	94,5	1 ½"	350	69,1			
	1.000			1.000			10.159			3.470				
1"	0	100,0	1"	0	100,0	1"	233	92,4	1"	260	63,9			
	1.000			1.000			9.926			3.210				
¾"	0	100,0	¾"	0	100,0	¾"	194	90,5	¾"	75	62,4			
	1.000			1.000			9.732			3.135				
3/8"	0	100,0	3/8"	0	100,0	3/8"	1.580	75,8	3/8"	285	56,7			
	1.000			1.000			8.152			2.850				
Nº4	13	98,7	Nº4	22	97,8	Nº4	1.486	62,0	Nº4	469	47,4			
	987			978			6.666			2.381				
Nº10	26	1000,0	Nº10	33	1000,0	Nº10	98	1000,0	Nº10	204	1000,0			
	961	94,9		945	92,4		902	55,9		796	37,7			
Nº40	67	88,2	Nº40	81	84,5	Nº40	206	43,2	Nº40	210	27,8			
	894			864			696			586				
Nº200	368	51,9	Nº200	346	50,7	Nº200	148	34,0	Nº200	246	16,1			
	526			518			548			340				
Clasificación: ML			Clasificación: ML			Clasificación: SM			Clasificación: GM					







## Granulometría del Sondeo 11

GRANULOMETRIAS					
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA					
COORDENADAS: S 28°26'3.85'' - W 65°45'24.66''					
SONDEO #11					
Profundidad (m) = 0,20 - 1,10			Profundidad (m) = 1,10 - 2,00		
Humedad (%) = 4,6			Humedad (%) = 1,8		
Gramos:	1.000		Gramos:	10.399	
#	R/P	%	#	R/P	%
2"	0	100,0	2"	291	97,2
	1.000			10.108	
1 ½"	0	100,0	1 ½"	453	92,8
	1.000			9.655	
1"	0	100,0	1"	652	86,6
	1.000			9.003	
¾"	0	100,0	¾"	244	84,2
	1.000			8.759	
3/8"	0	100,0	3/8"	1.026	74,4
	1.000			7.733	
Nº4	28	97,2	Nº4	780	66,9
	972			6.953	
Nº10	64	1000,0	Nº10	192	1000,0
	908	88,3		808	54,0
Nº40	190	69,8	Nº40	304	33,7
	718			504	
Nº200	274	43,2	Nº200	154	23,4
	444			350	
<b>Clasificación: SM</b>			<b>Clasificación: SM</b>		

## Granulometría Calicata N° 1

GRANULOMETRIAS					
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA					
COORDENADAS: S 28°26'26.31" - W 65°45'21.36"					
CALICATA #1					
Profundidad (m) = 0,20 - 1,00			Profundidad (m) = 1,00 - 2,00		
Humedad (%) = 1,93			Humedad (%) = 3.9		
Gramos:	1.000		Gramos:	1.000	
#	R/P	%	#	R/P	%
Nº4	0		Nº4	12	
	1.000	100,0		988	98,8
Nº10	0		Nº10	12	
	1.000	100,0		976	96,4
Nº40	8		Nº40	58	
	992	99,2		918	90,7
Nº200	172		Nº200	208	
	820	82,0		710	70,1
<b>Clasificación: ML</b>			<b>Clasificación: ML</b>		

## Granulometría de Calicata N°2

GRANULOMETRIAS					
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA					
COORDENADAS: S 28°26' 17.17'' - W 65°45' 14.55''					
CALICATA #2					
Profundidad (m) = 0,00 - 0,30			Profundidad (m) = 0,30 - 1,00		
Humedad (%) = 2,2			Humedad (%) = 2,2		
Gramos:	1.000		Gramos:	10.391	
#	R/P	%	#	R/P	%
2"	0	100,0	2"	3.020	70,9
	1.000			7.371	
1 ½"	0	100,0	1 ½"	1.180	59,6
	1.000			6.191	
1"	0	100,0	1"	1.232	47,7
	1.000			4.959	
¾"	0	100,0	¾"	360	44,3
	1.000			4.599	
3/8"	0	100,0	3/8"	797	36,6
	1.000			3.802	
Nº4	0	100,0	Nº4	454	32,2
	1.000			3.348	
Nº10	118	1000,0	Nº10	144	1000,0
	882	88,2		856	27,6
Nº40	46	83,6	Nº40	248	19,6
	836			608	
Nº200	216	62,0	Nº200	208	12,9
	620			400	
<b>Clasificación: ML</b>			<b>Clasificación: SM</b>		





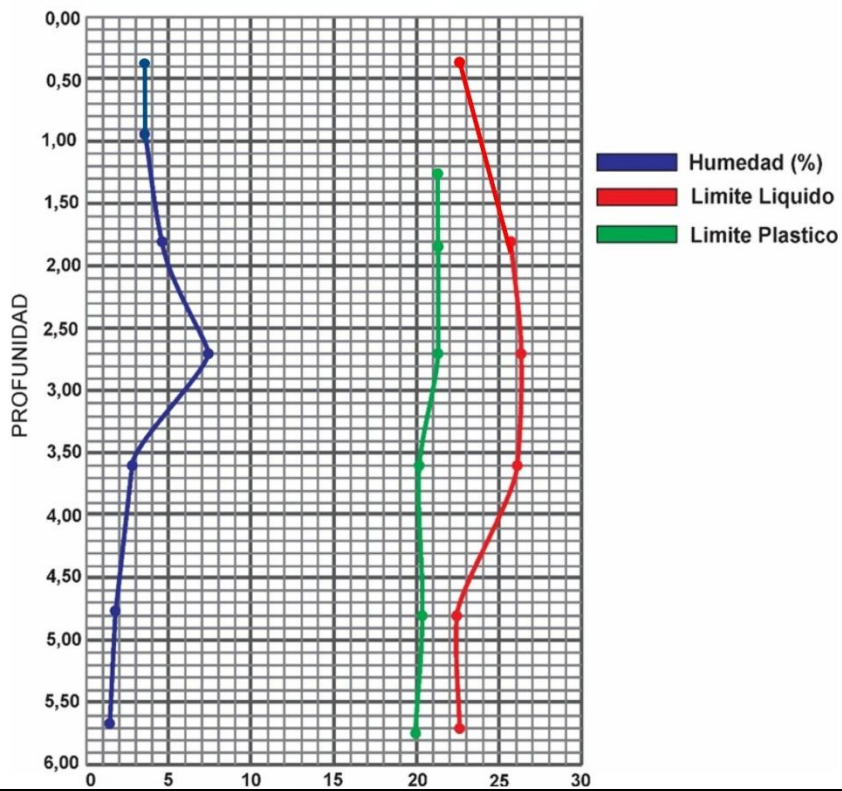
# Granulometría de Ensayo S.P.T. - Zona Central

GRANULOMETRIAS											
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA											
COORDENADAS: S 28°26'26.93" - W 65°45'19.39"											
SPT SONDEO #6											
Profundidad (m) = 0,20 - 1,00			Profundidad (m) = 1,00 - 2,00			Profundidad (m) = 2,00 - 3,00			Profundidad (m) = 3,00 - 4,00		
Humedad (%) = 5,5			Humedad (%) = 4,8			Humedad (%) = 3,5			Humedad (%) = 1,5		
Gramos:	1.000	%	Gramos:	1.000	%	Gramos:	9.538	%	Gramos:	9.365	%
#	R/P		#	R/P		#	R/P		#	R/P	
2"	0	100,0	2"	0	100,0	2"	0		2"	820	91,2
	1.000			1.000			9.538			8.545	
1 ½"	0	100,0	1 ½"	0	100,0	1 ½"	221		1 ½"	600	84,8
	1.000			1.000			9.317	97,7		7.945	
1"	0	100,0	1"	0	100,0	1"	259		1"	595	78,5
	1.000			1.000			9.058	95,0		7.350	
¾"	0	100,0	¾"	0	100,0	¾"	80		¾"	305	75,2
	1.000			1.000			8.978	94,1		7.045	
3/8"	0	100,0	3/8"	0	100,0	3/8"	391		3/8"	1.220	62,2
	1.000			1.000			8.587	90,0		5.825	
Nº4	0	100,0	Nº4	0	100,0	Nº4	307		Nº4	1.810	42,9
	1.000			1.000			8.280	86,8		4.015	
Nº10	6	1000,0	Nº10	13	1000,0	Nº10	76	1000,0	Nº10	148	1000,0
	994	99,4		987	98,7		924	80,2		852	36,5
Nº40	44	95,0	Nº40	72	91,5	Nº40	242		Nº40	346	21,7
	950			915			682	59,2		506	
Nº200	264	68,6	Nº200	307	60,8	Nº200	276		Nº200	222	
	686			608			406	35,2		284	12,2
Clasificación: ML			Clasificación: ML			Clasificación: SM			Clasificación: GM		

# Perfil de Suelo Sondeo 1

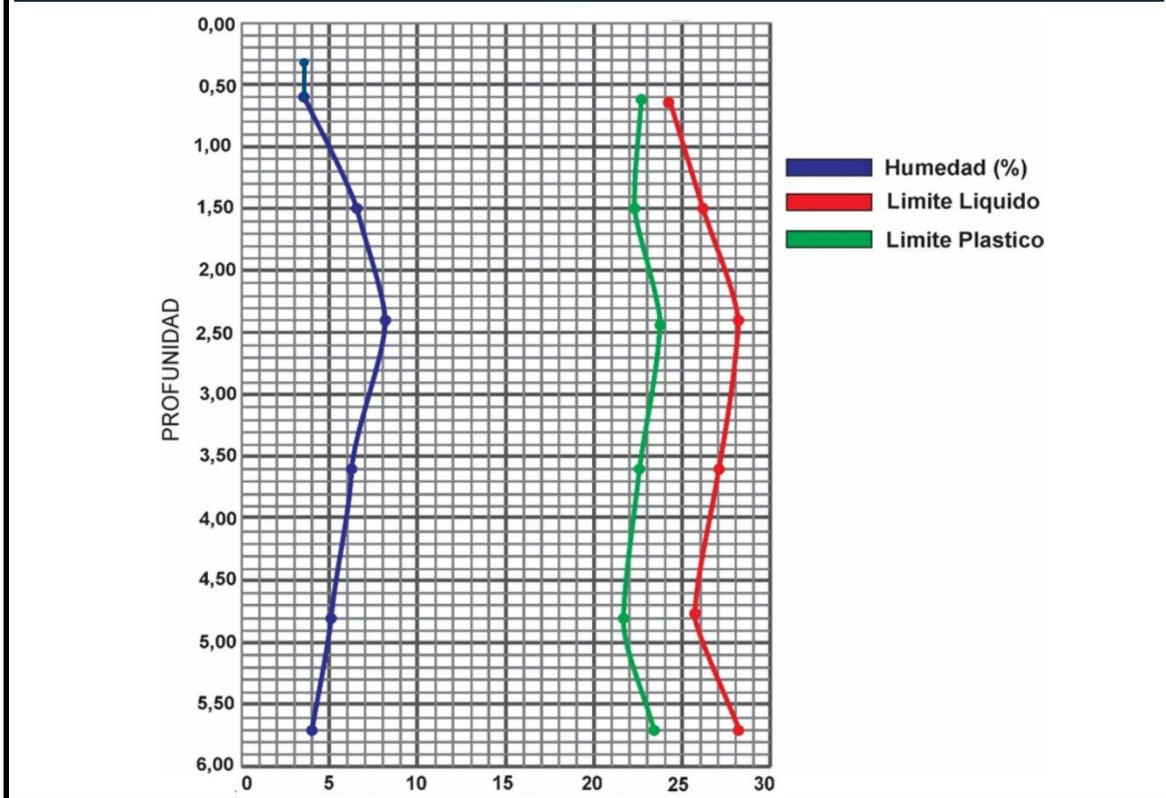
PERFIL DE SUELO											
LUGAR: FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA											
COORDENADAS: S 28°26' 41.55'' - W 65°45' 24.46''											
SONDEO N°1											
PROFUNDIDAD (m)	Perfil del Suelo	Tipo de Suelo	GRANULOMETRIA % QUE PASA				CLASIFICACION UNIFICADA	HUMEDAD NATURAL	LIMITES DE ATTERBERG		
			T4	T10	T40	T200			L.L.	L.P.	I.P.
0,30		Limo Org.					<b>OL</b>				
0,60		Arena Limosa Fina					<b>SM</b>	3,5	NO PLÁSTICO		
0,90											
1,20											
1,50		Limo de Baja compre- sibilidad					<b>ML</b>	4,8	25,7	21,45	3,5
1,80			100	99,6	95,6	60,6					
2,10											
2,40											
2,70			100	99,4	94,2	75					
3,00											
3,30		Limo Arcillo- so					<b>ML - CL</b>	2,9	26,03	20,3	5,2
3,60			98,6	94,3	89,5	66,7					
3,90											
4,20											
4,50		Arena limosa Media					<b>SM</b>	1,9	22,41	20,29	1,9
4,80			99,6	93,6	66,5	36,7					
5,10											
5,40											
5,70			99,6	90,2	51,8	30,1					
6,00											

## GRAFICO

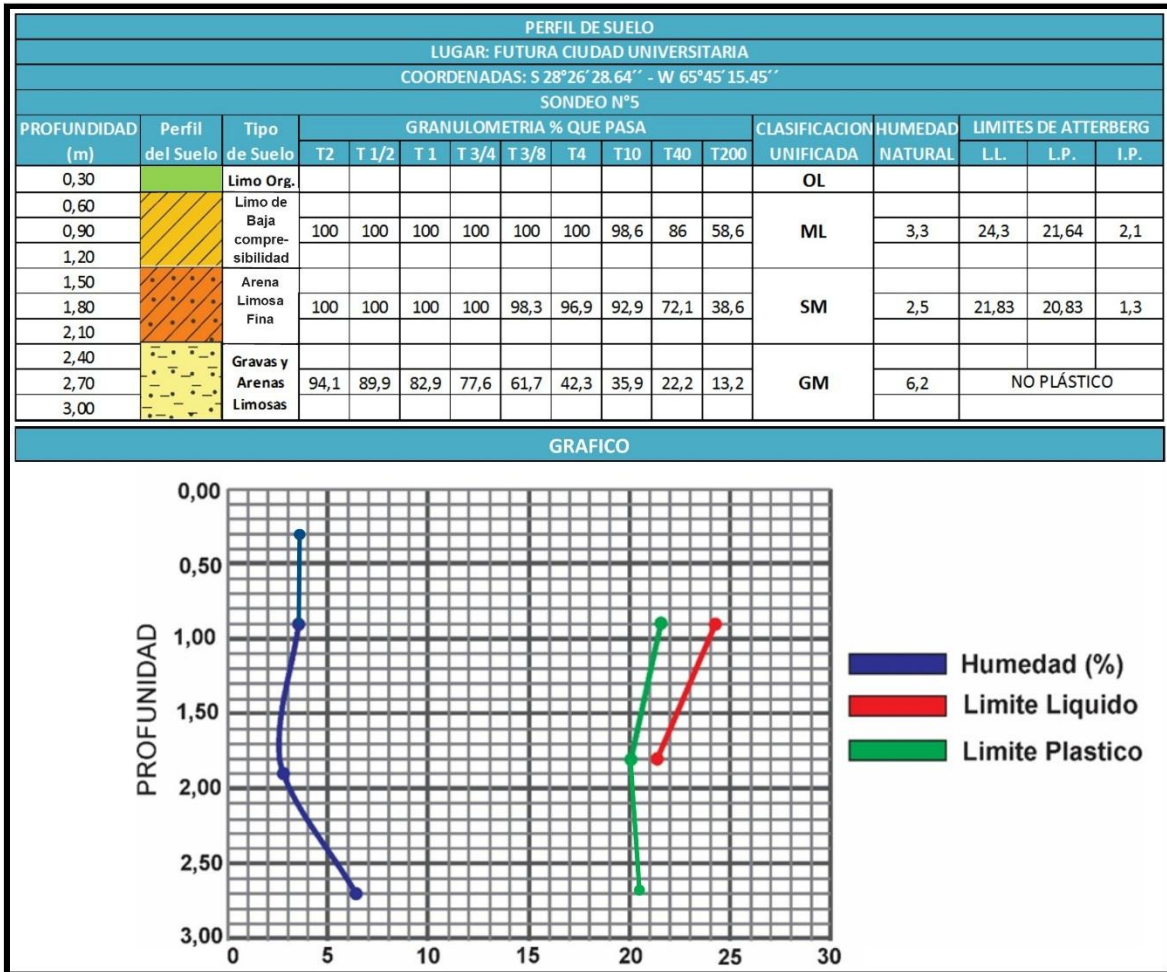


## Perfil de Suelo Sondeo 2

PERFIL DE SUELO											
LUGAR: FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA											
COORDENADAS: S 28°26' 40.92" - W 65°45' 29.76"											
SONDEO N°2											
PROFUNDIDAD (m)	Perfil del Suelo	Tipo de Suelo	GRANULOMETRIA % QUE PASA				CLASIFICACION UNIFICADA	HUMEDAD NATURAL	LIMITES DE ATTERBERG		
			T4	T10	T40	T200			LL	L.P.	I.P.
0,30		Limo Org.					<b>OL</b>				
0,60		Arena Limoso Fina	100	99,8	89,6	43	<b>SM</b>	3,5	24,19	22,7	0,9
0,90											
1,20											
1,50		Limo de Baja compre- sibilidad	100	100	98,4	77,6	<b>ML</b>	6,6	26,15	22,3	3,8
1,80											
2,10											
2,40											
2,70											
3,00											
3,30											
3,60		Limo Arcillo- so	100	100	98,2	80	<b>ML - CL</b>	6,1	27,6	22,6	5,2
3,90											
4,20											
4,50											
4,80											
5,10											
5,40											
5,70		Arena limosa Media	100	99,8	98,8	77,2	<b>SM</b>	4	28,14	23,4	3,8
6,00											



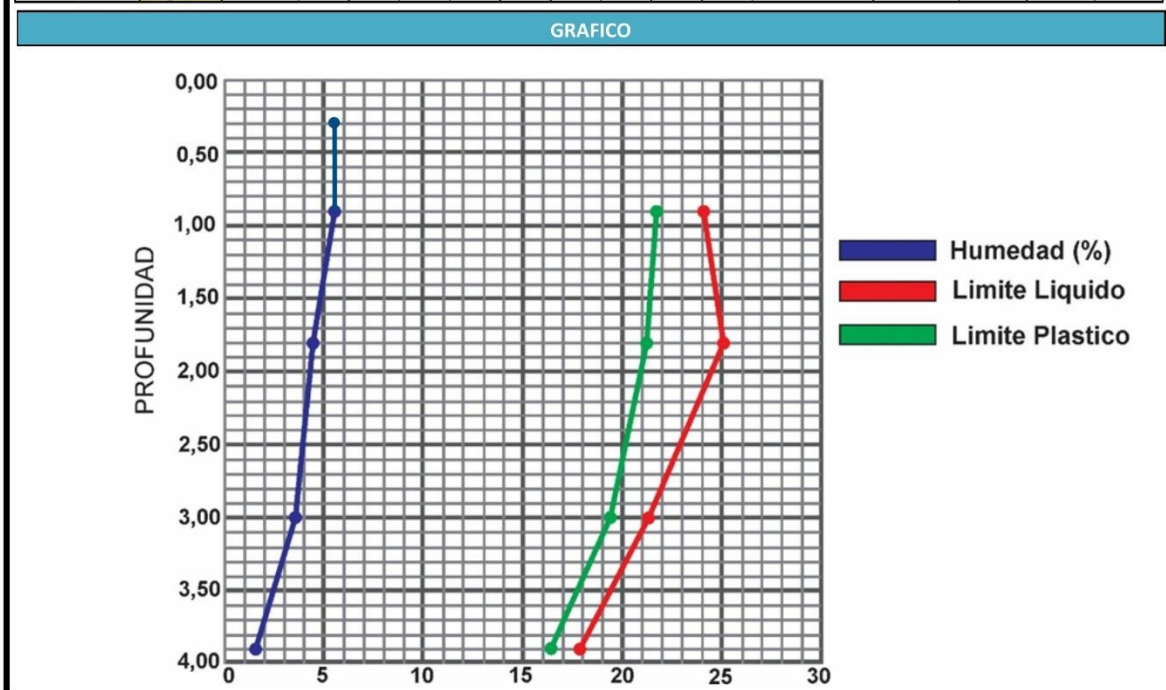
## Perfil de Suelo Sondeo 5





## Perfil de Suelo Sondeo 6

PERFIL DE SUELO																	
LUGAR: FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA																	
COORDENADAS: S 28°26'26.93" - W 65°45'19.39"																	
SONDEO N°6																	
PROFUNDIDAD (m)	Perfil del Suelo	Tipo de Suelo	GRANULOMETRIA % QUE PASA									CLASIFICACION UNIFICADA	HUMEDAD		LIMITES DE ATTERBERG		
			T2	T1/2	T1	T 3/4	T3/8	T4	T10	T40	T200		NATURAL	LL	LP.	I.P.	
0,30		Limo Org.											OL				
0,60		Limo de Baja compresibilidad											ML				
0,90			100	100	100	100	100	100	99,4	95	68,6	5,5		24,08	21,83	2,4	
1,20																	
1,50																	
1,80			100	100	100	100	100	100	98,7	91,5	60,8	4,8		25,03	21,59	3,2	
2,10																	
2,40																	
2,70		Arena Limosa Fina										SM					
3,00		100	97,7	95	94,1	90	86,8	80,2	59,2	35,2	3,5		21,34	19,34	1,9		
3,30																	
3,60		Gravas y Arenas Limosas										GM					
3,90			91,2	84,8	78,5	75,2	62,2	42,9	36,5	21,7	12,2		1,5	17,97	16,62	1,1	
4,20																	





# Plasticidad Sondeo 1

ENSAYO DE ESTADOS DE CONSISTENCIA - LIMITES DE ATTERBERG												
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA												
COORDENADAS: S 28°26'41.55" - W 65°45'24.46"												
SONDEO #1												
MUESTRA PROGRESIVA DETERMINACION N° GOLPES N° PESAFILTRO TARA PESAFILTRO Pf + SUELO HUMEDO Pf + SUELO SECO % AGUA SUELO SECO HUMEDAD L.L. CORREGIDO	1 0,20 - 0,80		2 0,80 - 1,50		3 1,50 - 3,00		4 3,00 - 4,00		5 4,00 - 5,00		6 5,00 - 6,00	
	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.
	17	0	20	5	18	19	21	9	23	5	13	18
	14	0	16	8,8799	6	8,4692	13	10,1582	5	9,2986	1	14,7911
	14,6202	0	14,2701	14,2627	16,1461	11,5188	15,7847	16,4919	9,2986	3,8852	16,3069	14,7911
	34,6494	0	37,993	13,312	44,703	10,9872	54,4796	16,1942	23,0704	11,1942	47,9478	20,8029
	30,8012	0	33,1476	0,9507	38,7782	0,5316	46,4865	15,425	20,5491	9,9612	42,0855	19,7993
	3,8482	0	4,8454	4,4321	5,9248	2,518	7,9931	1,0669	2,5213	1,233	5,8623	1,0036
	16,1810	0	18,8775	21,45	22,6321	2,518	30,7018	5,2668	11,2505	6,076	25,7786	5,0082
	23,78	0	25,67	21,11	26,18	21,11	26,03	20,3	22,41	20,29	22,74	20,04
	22,7		25,0	21,45	25,1	25,1	25,5	20,3	22,2	22,41	21,0	21,0
INDICE PLASTICO	<b>NO PLASTICO</b>		<b>3,5</b>		<b>4,0</b>		<b>5,2</b>		<b>1,9</b>		<b>1</b>	

## Plasticidad Sondeo 2

ENSAYO DE ESTADOS DE CONSISTENCIA - LIMITES DE ATTERBERG												
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA												
COORDENADAS: S 28°26' 40.92" - W 65°45' 29.76"												
SONDEO #2												
MUESTRA	1		2		3		4		5		6	
	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.
PROGRESIVA	0,30 - 1,00		1,00 - 2,00		2,00 - 3,00		3,00 - 4,00		4,00 - 5,00		5,00 - 6,00	
DETERMINACION	21	19	25	13	19	1	26	14	30	15	19	62
N° GOLPES	16	8,4703	7	15,784	3	16,3077	4	14,6243	5	17,7999	28	10,1596
N° PESAFILTRO	14,2966	10,1247	16,3326	23,0968	9,389	21,245	16,3051	20,4655	8,8818	20,9413	9,1138	14,4674
TARA PESAFILTRO	26,8376	9,8184	38,6924	21,7622	31,4244	20	42,7967	19,3901	28,9596	20,3783	30,5975	13,6509
Pf + SUELO HUMEDO	24,395	0,3063	34,0573	1,3346	26,59	0,9532	5,7326	1,0754	24,8428	0,563	4,7185	0,8165
Pf + SUELO SECO	2,4426	1,3481	4,6351	5,9782	4,8344	3,9841	20,759	4,7658	4,1168	2,5784	16,7652	3,4913
% AGUA	10,0984	22,7	17,7247	22,3	17,201	23,9	27,6	22,6	15,961	21,8	28,14	23,4
SUELO SECO	24,19	22,7	26,15	22,3	28,1	23,9	27,6	22,6	25,8	21,8	28,14	23,4
HUMEDAD	23,7	22,7	26,2	22,3	27,1	27,1	27,8	27,8	26,4	21,8	27,2	23,4
L.L. CORREGIDO	0,9		3,8		3,2		5,2		4,6		3,8	
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>0,9</b>		<b>3,8</b>		<b>3,2</b>		<b>5,2</b>		<b>4,6</b>		<b>3,8</b>	

## Plasticidad Sondeo 3

ENSAYO DE ESTADOS DE CONSISTENCIA - LÍMITES DE ATTERBERG												
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA												
COORDENADAS: S 28°26'37.24" - W 65°45'19.22"												
SONDEO #3												
MUESTRA	1		2		3		4		5		6	
	0,20 - 1,00		1,00 - 2,00		2,00 - 3,00		3,00 - 4,00		4,00 - 5,00		5,00 - 6,00	
PROGRESIVA	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.
N° GOLPES	17	27	20	30	15	1	21	5	18	15	18	27
N° PESAFILTRO	6		24		11	16,3237	4	8,8818	7	17,7994	6	8,8944
TARA PESAFILTRO	16,1548	8,8944	9,0008	8,7098	11,1623	16,3237	16,3051	8,8818	16,3326	17,7994	16,1548	8,8944
Pf + SUELO HUMEDO	33,7964	12,0348	26,5132	11,8439	29,3413	20,9265	37,2237	11,4748	38,3971	21,7865	33,7964	12,0348
Pf + SUELO SECO	30,087	11,4439	22,8156	11,2481	25,4718	20,0926	32,9126	11,0106	34,1326	21,1033	30,087	11,4439
% AGUA	3,7094	0,5909	3,6976	0,5958	3,8695	0,8339	4,3111	0,4642	4,2645	0,6832	3,7094	0,5909
SUELO SECO	13,9322	2,5495	13,8148	2,5383	14,3095	3,7689	16,6075	2,1288	17,8	3,3039	13,9322	2,5495
HUMEDAD	26,62	23,2	26,77	23,47	27,04	22,13	25,96	21,81	23,96	20,68	26,62	23,2
L.L. CORREGIDO	25,4		26,0		25,4		25,4		23,0		25,5412391	
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>2,2</b>		<b>2,5</b>		<b>3,2</b>		<b>3,6</b>		<b>2,3</b>		<b>2,4</b>	

## Plasticidad Sondeo 4

ENSAYO DE ESTADOS DE CONSISTENCIA - LIMITES DE ATTERBERG														
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA														
COORDENADAS: S 28° 26' 35.54" - W 65° 45' 21.74"														
SONDEO #4														
MUESTRA	1		2		3		4		5		6			
	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.		
PROGRESIVA	0,20 - 1,40		1,40 - 2,00		2,00 - 3,00		3,00 - 4,00		4,00 - 5,00		5,00 - 6,00			
DETERMINACION	22	28	23	1	24	11	22	13	21	7	25	6		
N° GOLPES	0	0	1	4	11	14	9	13	7	16,3527	9,1347	16,1527	22	
N° PESAFILTRO	0	0	16,3082	16,3037	11,1532	14,6251	10,1613	15,7895	10,1613	32,4089	14,6759	16,1527	16,224	
TARA PESAFILTRO	0	0	30,7856	17,8624	31,7672	17,7042	12,1879	30,1558	12,1879	29,3759	13,7781	25,2174	18,4601	
Pf + SUELO HUMEDO	0	0	27,8915	17,5912	27,5014	17,1358	11,8473	27,3958	11,8473	3,033	0,8978	23,6931	18,1258	
Pf + SUELO SECO	0	0	2,8941	0,2712	4,2658	0,5684	0,3406	2,76	0,3406	13,0232	4,6434	1,5243	0,3343	
% AGUA	14,575	0	11,5833	1,2875	16,3482	2,5107	1,686	11,6063	1,686	23,29	19,33	7,5404	1,9018	
SUELO SECO	20,30	0	24,99	21,06	26,09	22,64	20,20	23,78	20,20	22,8	20,2	20,2	17,58	
HUMEDAD	20,0	0	24,7	21,06	26,0	22,64	20,20	23,4	22,8	22,8	20,2	20,2	17,58	
L.L. CORREGIDO														
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>NO PLASTICO</b>		<b>3.7</b>		<b>3.3</b>		<b>3.2</b>		<b>3.4</b>		<b>2.6</b>			

## Plasticidad Sondeo 5

ENSAYO DE ESTADOS DE CONSISTENCIA - LIMITES DE ATTERBERG						
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA						
COORDENADAS: S 28°26'28.64" - W 65°45'15.45"						
SONDEO #5						
MUESTRA PROGRESIVA DETERMINACION N° GOLPES N° PESAFILTRO TARA PESAFILTRO Pf + SUELO HUMEDO Pf + SUELO SECO % AGUA SUELO SECO HUMEDAD L.L. CORREGIDO	1		2		3	
	0,20 - 1,00		1,00 - 2,00		2,00 - 3,00	
	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.
	21	19	28	18	26	0
	16	8,4705	17	6,9457	20	0
	14,2783	10,4887	14,7998	8,8386	7,8744	0
	24,89	10,1297	29,8208	8,5123	25,1392	0
	22,8155	0,359	27,1289	0,3263	22,1687	0
	2,0745	1,6592	2,6919	1,5666	2,9705	0
	8,5372	21,64	12,3291	20,83	14,2943	0
	24,30	22,2	21,83		20,78	0
	23,8		22,2		20,9	
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>2,1</b>		<b>1,3</b>		<b>NO PLASTICO</b>	



## Plasticidad Sondeo 6

ENSAYO DE ESTADOS DE CONSISTENCIA - LIMITES DE ATTERBERG									
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA									
COORDENADAS: S 28°26'26.93" - W 65°45'19.39"									
SONDEO #6									
	1		2		3		4		
	0,20 - 1,00		1,00 - 2,00		2,00 - 3,00		3,00 - 4,00		
	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	
MUESTRA	26	18	23	5	24	9	22	11	
PROGRESIVA	28		8		15		3		
DETERMINACION	10,2814	9,7939	11,2149	8,8805	12,3587	9,0114	9,3911	8,2275	
N° GOLPES	29,8039	14,4277	27,4025	14,395	31,3451	12,3406	28,8362	12,4883	
N° PESAFILTRO	26,0158	13,5974	24,1618	13,416	28,0066	11,8011	25,8745	11,8812	
TARA PESAFILTRO	3,7881	0,8303	3,2407	0,979	3,3385	0,5395	2,9617	0,6071	
Pf + SUELO HUMEDO	15,7344	3,8035	12,9469	4,5355	15,6479	2,7897	16,4834	3,6537	
% AGUA	24,08	21,83	25,03	21,59	21,34	19,34	17,97	16,62	
SUELO SECO	24,2		24,8		21,2		17,7		
HUMEDAD									
L.L. CORREGIDO									
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>2,4</b>		<b>3,2</b>		<b>1,9</b>		<b>1,1</b>		

## Plasticidad Sondeo 7

ENSAYO DE ESTADOS DE CONSISTENCIA - LIMITES DE ATTERBERG			
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA			
COORDENADAS: S 28°26'26.93" - W 65°45'19.39"			
SONDEO #7			
MUESTRA	1		2
	0,20 - 1,00		1,00 - 2,00
PROGRESIVA	L.L.	L.P.	L.P.
DETERMINACION			
N° GOLPES	26		17
N° PESAFILTRO	51	5	17
TARA PESAFILTRO	9,7436	9,3056	14,7998
Pf + SUELO HUMEDO	22,0267	13,1251	29,8208
Pf + SUELO SECO	19,8479	12,4723	27,4418
% AGUA	2,1788	0,6528	2,379
SUELO SECO	10,1043	3,1667	12,642
HUMEDAD	21,5630969	20,6	18,818225
L.L. CORREGIDO	21,7		17,9
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>1,1</b>		<b>1,7</b>

## Plasticidad Sondeo 8

ENSAYO DE ESTADOS DE CONSISTENCIA - LIMITES DE ATTERBERG								
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA								
COORDENADAS: S 28°26'10.86" - W 65°45'17.08"								
SONDEO #8								
MUESTRA PROGRESIVA DETERMINACION N° GOLPES N° PESAFILTRO TARA PESAFILTRO Pf + SUELO HUMEDO Pf + SUELO SECO % AGUA SUELO SECO HUMEDAD L.L. CORREGIDO	1		2		3		4	
	0,20 - 1,00		1,00 - 2,00		2,00 - 3,00		3,00 - 4,00	
	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.
	18	3	28	25	26	13	28	3
	13	7,8492	24	2,8615	12	3,7322	2	3
	7,4729	15,2858	11,9933	9,027	15,1868	10,9672	16,1166	2,973
	29,2517	13,9345	32,3686	7,9469	36,141	9,7508	39,4805	10,3349
	24,6512	1,3513	28,3573	1,0801	32,2685	1,2164	35,1894	9,2002
	4,6005	6,0853	4,0113	5,0854	3,8725	6,0186	4,2911	1,1347
	17,1783	22,21	16,364	21,24	17,0817	20,21	19,0728	6,2272
	26,78		24,51		22,67		22,50	18,22
	25,7		24,9		22,8		22,8	
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>3,5</b>		<b>3,7</b>		<b>2,6</b>		<b>4,6</b>	

## Plasticidad Sondeo 9

ENSAYO DE ESTADOS DE CONSISTENCIA - LIMITES DE ATTERBERG												
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA												
COORDENADAS: S 28°26'34.00" - W 65°45'25.00"												
SONDEO #9												
MUESTRA	1		2		3		4		5		6	
	0,20 - 1,00		1,00 - 2,00		2,00 - 3,00		3,00 - 4,00		4,00 - 5,00		5,00 - 6,00	
PROGRESIVA	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.
N° GOLPES	26	2	18	4	29	6	25	8	14	10	21	12
N° PESAFILTRO	1	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TARA PESAFILTRO	7,6623	3,8552	8,2461	2,9601	8,7341	3,0477	14,5725	3,0096	13,8543	3,8934	15,8874	3,657
Pf + SUELO HUMEDO	27,0568	11,2899	23,904	9,5088	41,8125	8,7016	32,4968	9,0164	41,5338	9,024	39,0118	14,8365
Pf + SUELO SECO	22,9745	9,902	20,5497	8,322	35,2234	7,6578	29,0947	8,0014	35,7134	8,1165	34,5175	12,7969
% AGUA	4,0823	1,3879	3,3543	1,1868	6,5891	1,0438	3,4021	1,015	5,8204	0,9075	4,4943	2,0396
SUELO SECO	15,3122	6,0468	12,3036	5,3619	26,4893	4,6101	14,5222	4,9918	21,8591	4,2231	18,6301	9,1399
HUMEDAD	26,66	23,0	27,26	22,13	24,87	22,64	23,43	20,33	26,63	21,49	24,12	22,32
L.L. CORREGIDO	26,8		26,2		25,4		23,4		24,8		23,6	
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>3,9</b>		<b>4,0</b>		<b>2,7</b>		<b>3,1</b>		<b>3,3</b>		<b>1,3</b>	

## Plasticidad Sondeo 10

ENSAYO DE ESTADOS DE CONSISTENCIA - LIMITES DE ATTERBERG										
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA										
COORDENADAS: S 28°26'26.31" - W 65°45'21.36"										
SONDEO #10										
MUESTRA	1		2		3		4		5	
	0,20 - 1,00		1,00 - 2,00		2,00 - 3,00		3,00 - 4,00		4,00 - 5,00	
PROGRESIVA	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.
N° GOLPES	28	3	28	4	27	6	26	17	19	0
N° PESAFILTRO	8		19		5		15		14	
TARA PESAFILTRO	9,0193	2,9724	8,4801	2,8598	8,8812	3,7308	17,8468	4,0876	14,6202	0
Pf + SUELO HUMEDO	34,662	9,5245	37,9315	10,0048	43,8776	11,9484	47,6213	14,0801	34,8567	0
Pf + SUELO SECO	28,9378	8,2025	31,6093	8,6588	36,5792	10,4129	41,3976	12,1485	30,8012	0
% AGUA	5,7242	1,322	6,3222	1,346	7,2984	1,5355	6,2237	1,9316	4,0555	0
SUELO SECO	19,9185	5,2301	23,1292	5,799	27,698	6,6821	23,5508	8,0609	16,1810	0
HUMEDAD	28,74	25,28	27,33	23,21	26,35	22,98	26,43	23,96	25,06	0
L.L. CORREGIDO	29,2		27,8		26,6		26,6		24,2	
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>3,9</b>		<b>4,5</b>		<b>3,6</b>		<b>2,6</b>		<b>NO PLASTICO</b>	



## Plasticidad Sondeo 11

ENSAYO DE ESTADOS DE CONSISTENCIA - LIMITES DE ATTERBERG			
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA			
COORDENADAS: S 28°26'3.85'' - W 65°45'24.66''			
SONDEO #11			
	1		2
	0,20 - 1,00		1,00 - 2,00
MUESTRA	L.L.	L.P.	L.P.
PROGRESIVA	24	2	26
DETERMINACION	1	3,8552	3
N° GOLPES	7,6623	11,2899	8,2461
N° PESAFILTRO	27,215	9,902	23,904
TARA PESAFILTRO	23,2966	1,3879	20,8497
Pf + SUELO HUMEDO	3,9184	6,0468	3,0543
Pf + SUELO SECO	15,6343	23,0	12,6036
% AGUA	25,0628426		24,2335523
SUELO SECO	24,9		24,4
HUMEDAD			
L.L. CORREGIDO			
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>2,0</b>		<b>2,2</b>

## *Plasticidad Calicata 1*

ENSAYO DE ESTADOS DE CONSISTENCIA - LIMITES DE ATTERBERG				
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA				
COORDENADAS: S 28°26' 26.31'' - W 65°45' 21.36''				
CALICATA #1				
MUESTRA PROGRESIVA	C1-1		C1-2	
	0,80 - 1,50		1,50 - 3,00	
DETERMINACION	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.
N° GOLPES	20		18	
N° PESAFILTRO	22	15	12	25
TARA PESAFILTRO	14,2701	8,8799	16,1461	8,4692
Pf + SUELO HUMEDO	38,023	14,2627	44,503	11,5188
Pf + SUELO SECO	33,1476	13,312	38,7782	10,9872
% AGUA	4,8754	0,9507	5,7248	0,5316
SUELO SECO	18,8775	4,4321	22,6321	2,518
HUMEDAD	25,83	21,45	25,30	21,11
L.L. CORREGIDO	25,1		24,3	
INDICE PLASTICO	<b>3,7</b>		<b>3,2</b>	

## *Plasticidad Calicata 2*

ENSAYO DE ESTADOS DE CONSISTENCIA - LIMITES DE ATTERBERG				
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA				
COORDENADAS: S 28°26' 17.17'' - W 65°45' 14.55''				
CALICATA #2				
MUESTRA PROGRESIVA	C2-1		C2-2	
	0,20 - 1,00		1,00 - 2,00	
DETERMINACION	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.
N° GOLPES	24		26	
N° PESAFILTRO	24	25	26	27
TARA PESAFILTRO	7,6623	3,8552	8,2461	2,9601
Pf + SUELO HUMEDO	27,515	11,2899	23,844	9,5088
Pf + SUELO SECO	23,2966	9,902	20,8497	8,322
% AGUA	4,2184	1,3879	2,9943	1,1868
SUELO SECO	15,6343	6,0468	12,6036	5,3619
HUMEDAD	26,9817005	23,0	23,7574979	22,1
L.L. CORREGIDO	26,8		23,9	
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>3,9</b>		<b>1,8</b>	

# Plasticidad S.P.T. 1

ENSAYO DE ESTADOS DE CONSISTENCIA - LIMITES DE ATTERBERG												
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA												
COORDENADAS: S 28°26' 40.92" - W 65°45' 29.76"												
SPT #1 - SONDEO #2												
MUESTRA	SPT1-1		SPT1-2		SPT1-3		SPT1-4		SPT1-5		SPT1-6	
	0,30 - 1,00		1,00 - 2,00		2,00 - 3,00		3,00 - 4,00		4,00 - 5,00		5,00 - 6,00	
PROGRESIVA	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.
N° GOLPES	21	6	25	28	19	18	26	2	30	7	19	20
N° PESAFILTRO	14	8,4703	3	15,784	18	9,389	2	14,6243	7	8,8818	32	10,1596
TARA PESAFILTRO	14,2966	10,1247	16,3326	23,0968	9,389	31,3244	16,3051	20,4655	8,8818	17,7999	9,1138	14,4674
PF + SUELO HUMEDO	26,9176	9,8184	38,6024	21,7622	31,3244	26,59	42,7967	19,3901	28,9996	20,9413	30,4375	13,6509
PF + SUELO SECO	24,395	0,3063	34,0573	1,3346	26,59	4,7344	37,0641	1,0754	24,8428	20,3783	25,879	0,8165
% AGUA	2,5226	1,3481	4,5451	5,9782	4,7344	17,201	5,7326	4,7658	4,1568	0,563	4,5585	3,4913
SUELO SECO	10,0984	22,7	17,7247	22,3	17,201	3,9841	20,759	22,6	15,961	2,5784	16,7652	23,4
HUMEDAD	24,98	22,7	25,64	22,3	27,5	23,9	27,6	22,6	26,0	21,8	27,19	23,4
L.L. CORREGIDO	24,4	25,7	25,7	26,6	26,6	27,8	26,7	26,3	26,7	26,3	26,3	26,3
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>1,7</b>		<b>3,3</b>		<b>2,7</b>		<b>5,2</b>		<b>4,9</b>		<b>2,9</b>	

Plasticidad S.P.T. 2

ENSAYO DE ESTADOS DE CONSISTENCIA - LIMITES DE ATTERBERG								
LUGAR: PREDIO FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA								
COORDENADAS: S 28°26'26.93" - W 65°45'19.39"								
SPT # 2 - SONDEO #6								
MUESTRA PROGRESIVA DETERMINACION N° GOLPES N° PESAFILTRO TARA PESAFILTRO Pf + SUELO HUMEDO Pf + SUELO SECO % AGUA SUELO SECO HUMEDAD L.L. CORREGIDO	SPT2-1 0,20 - 1,00		SPT2-2 1,00 - 2,00		SPT2-3 2,00 - 3,00		SPT2-4 3,00 - 4,00	
	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.
	26	18	23	5	24	9	22	11
	28		8		15		3	
	10,2814	9,7939	11,2149	8,8805	12,3587	9,0114	9,3911	8,2275
	29,8939	14,4277	27,4325	14,395	31,3051	12,3406	28,8662	12,4883
	26,0158	13,5974	24,1618	13,416	28,0066	11,8011	25,8745	11,8812
	3,8781	0,8303	3,2707	0,979	3,2985	0,5395	2,9917	0,6071
	15,7344	3,8035	12,9469	4,5355	15,6479	2,7897	16,4834	3,6537
	24,65	21,83	25,26	21,59	21,08	19,34	18,15	16,62
	24,8		25,0		21,0		17,9	
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>3,0</b>		<b>3,4</b>		<b>1,6</b>		<b>1,2</b>	



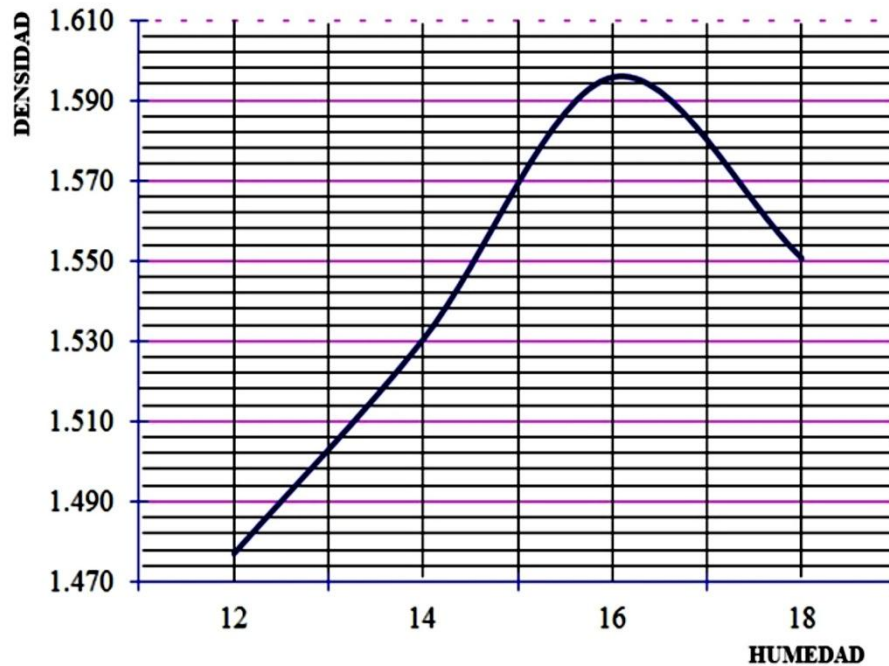
## Ensayo Proctor - Sector Sur

COMPACTACION DE SUELOS - ENSAYO PROCTOR	
COMPACTACION DE SUELOS - ENSAYO PROCTOR	
PARA LA CONSTRUCCION DE LA FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA	
DEPARTAMENTO CAPITAL. PROVINCIA DE CATAMARCA	
SONDEO 2	COORDENADAS: S 28°26'26.31" - W 65°45'21.36"

PROCTOR: T/99	CAPAS: 3	N° GOLES: 25	PISTON: 2,5 Kg
MOLDE: N° 1		TARA: 1905	VOLUMEN: 940 cm <sup>3</sup>

SUELO					
N°	PESO SUELO + MOLDE (gr)	PESO DEL SUELO (gr)	DENSIDAD HUMEDA (kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )
1	3.460	1.555	1.654	12	1.477
2	3.545	1.640	1.745	14	1.530
3	3.645	1.740	1.851	16	1.596
4	3.625	1.720	1.830	18	1.551

DENSIDAD MAXIMA:	1.596 Kg/m <sup>3</sup>
HUMEDAD OPTIMA:	16,0%



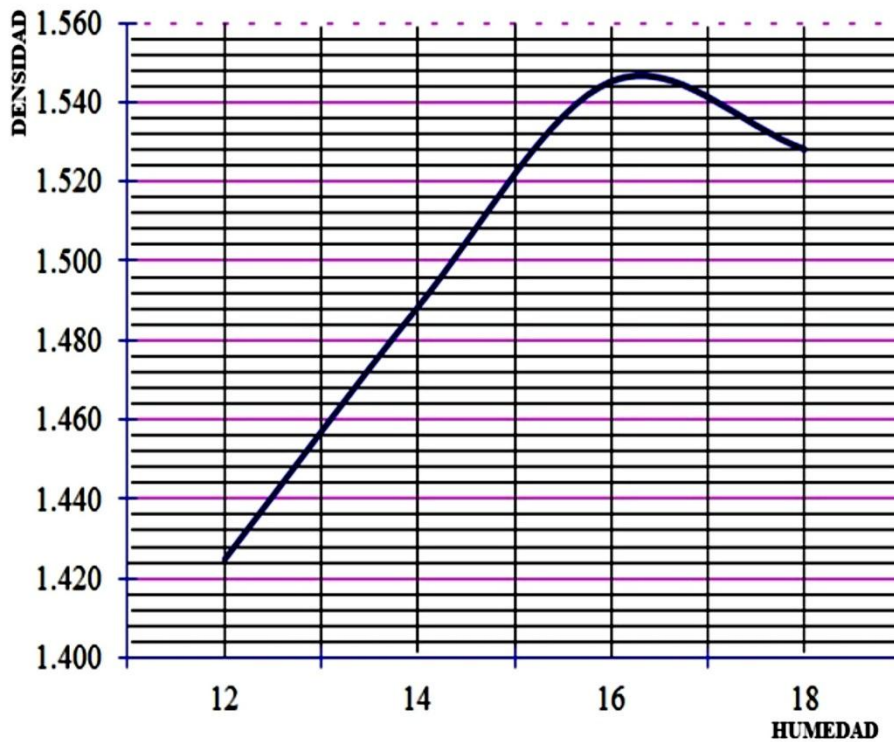
## Ensayo Proctor - Sector Norte

ESTUDIO DE SUELO PARA FUNDACION	
COMPACTACION DE SUELOS - ENSAYO PROCTOR	
PARA LA CONSTRUCCION DE LA FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA	
DEPARTAMENTO CAPITAL. PROVINCIA DE CATAMARCA	
SONDEO 2	COORDENADAS: S 28°26'26.31" - W 65°45'21.36"

PROCTOR: T/99	CAPAS: 3	N° GOLES: 25	PISTON: 2,5 Kg
MOLDE: N° 1		TARA: 1905	VOLUMEN: 940 cm <sup>3</sup>

SUELO					
N°	PESO SUELO + MOLDE (gr)	PESO DEL SUELO (gr)	DENSIDAD HUMEDA (kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD	DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )
1	3.405	1.500	1.596	12,0	1.425
2	3.500	1.595	1.697	14,0	1.488
3	3.590	1.685	1.793	16,0	1.545
4	3.600	1.695	1.803	18,0	1.528

DENSIDAD MAXIMA:	1.545 Kg/m <sup>3</sup>
HUMEDAD OPTIMA:	16,0%



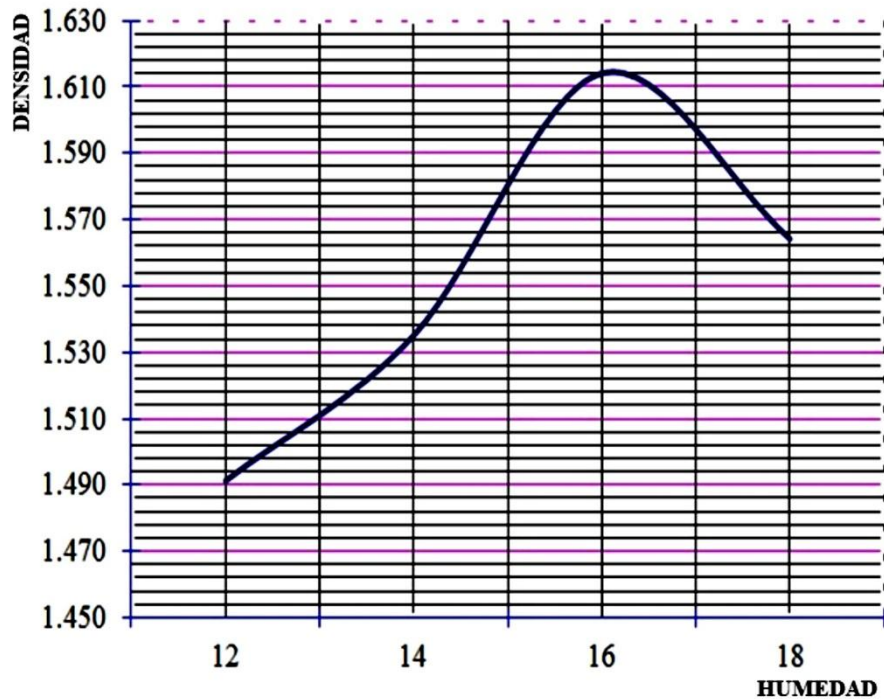
## Ensayo Proctor - Sector Norte

ESTUDIO DE SUELO PARA FUNDACION	
COMPACTACION DE SUELOS - ENSAYO PROCTOR	
PARA LA CONSTRUCCION DE LA FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA	
DEPARTAMENTO CAPITAL. PROVINCIA DE CATAMARCA	
SONDEO 2	COORDENADAS: S 28°26'26.31" - W 65°45'21.36"

PROCTOR: T/99	CAPAS: 3	N° GOLES: 25	PISTON: 2,5 Kg
MOLDE: N° 1		TARA: 1905	VOLUMEN: 940 $\frac{cm^3}{3}$

SUELO					
N°	PESO SUELO	PESO DEL	DENSIDAD	HUMEDAD	DENSIDAD
	.+ MOLDE	SUELO	HUMEDA		SECA
	(gr)	(gr)	(kg/m3)		(kg/m3)
1	3.475	1.570	1.670	12,0	1.491
2	3.550	1.645	1.750	14,0	1.535
3	3.665	1.760	1.872	16,0	1.614
4	3.640	1.735	1.846	18,0	1.564

DENSIDAD MAXIMA:	1.614 Kg/m3
HUMEDAD OPTIMA:	16,0%



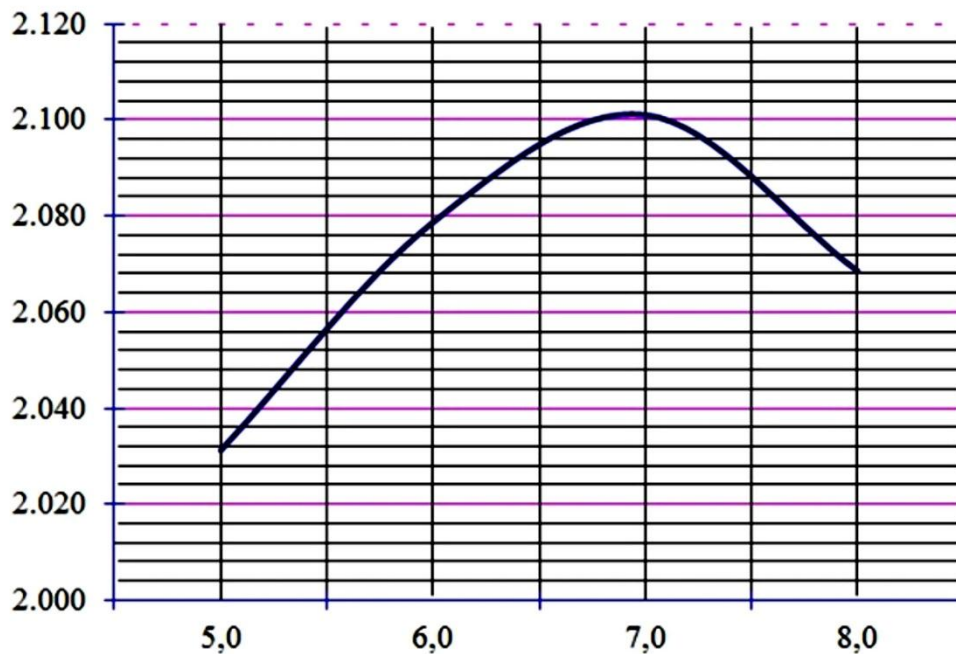
## Ensayo Proctor - Sector Norte

ESTUDIO DE SUELO PARA FUNDACION	
COMPACTACION DE SUELOS - ENSAYO PROCTOR	
PARA LA CONSTRUCCION DE LA FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA	
DEPARTAMENTO CAPITAL. PROVINCIA DE CATAMARCA	
SONDEO 6	COORDENADAS: S 28°26'26.31" - W 65°45'21.36"

PROCTOR: T/99	CAPAS: 3	N° GOLES: 25	PISTON: 2,5 Kg
MOLDE: N° 1		TARA: 3020	VOLUMEN: 2124 $\frac{cm^3}{3}$

SUELO					
N°	PESO SUELO + MOLDE (gr)	PESO DEL SUELO (gr)	DENSIDAD HUMEDA (kg/m3)	HUMEDAD	DENSIDAD SECA (kg/m3)
1	7.550	4.530	2.133	5,0	2.031
2	7.700	4.680	2.203	6,0	2.079
3	7.795	4.775	2.248	7,0	2.101
4	7.765	4.745	2.234	8,0	2.069

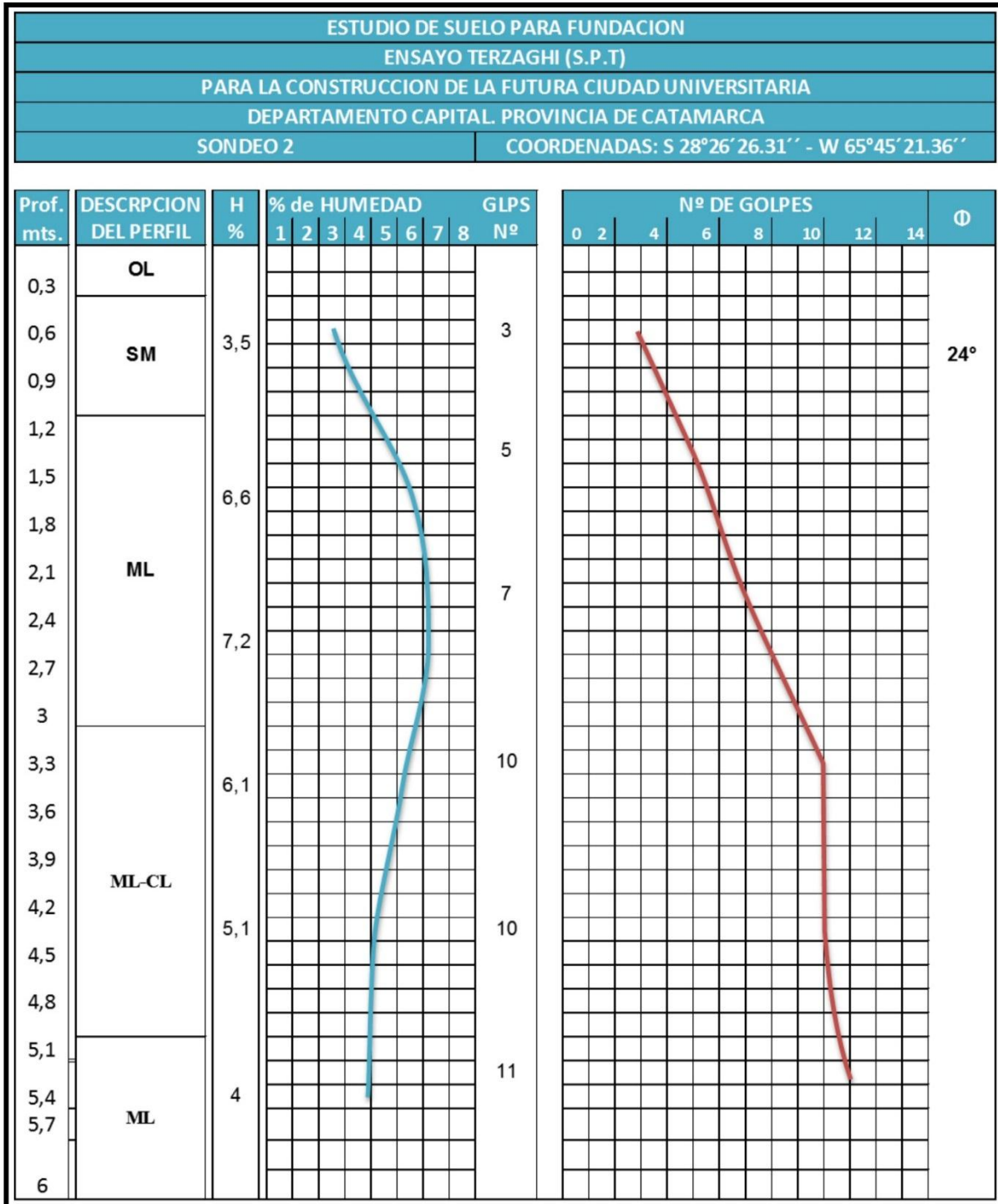
DENSIDAD MAXIMA:	2.101 Kg/m <sup>3</sup>
HUMEDAD OPTIMA:	7,0%



**ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR- S.P.T.**

**(TERZAGHI)**

Sondeo N° 2- Sector Sur del terreno.







## Ensayos de Compresión Simple - Sondeo 2

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE A DEFORMACIÓN CONTROLADA						
PARA LA CONSTRUCCION DE LA FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA						
DEPARTAMENTO CAPITAL. PROVINCIA DE CATAMARCA						
SONDEO 2	PROFUNDIDAD: 2,00 metros	COORDENADAS: S 28°26'26.31" - W 65°45'21.36"				
Deformación	Deformación	Deformación	Lectura Aro	Secc. Transv.	Incremento	Tensión Total
Vertical	UnitariaParcial	Unitaria Acum.	( l )	Corregida	( l x f )	( s1 )
( 0,01 mm.)	( % )	( e ) - ( % )	( 0,01 mm.)	( cm2 )	( Kg. )	( Kpa )
0		0	0	34,42	0	0
25	0,173	1,852	3	35,07	2,34	6,54
50		3,704	6	35,74	4,68	12,83
75		5,556	9,5	36,44	7,41	19,93
100		7,407	12,5	37,17	9,75	25,70
125		9,259	14	37,93	10,92	28,21
150		11,111	15	38,72	11,7	29,61
175		12,963	15,5	39,55	12,09	29,96
200		14,815	15	40,41	11,7	28,38
225		16,667	14,5	41,30	11,31	26,83
250		18,519	13,3	42,24	10,374	24,07

DIAMETRO PROBETA (cm) =	6,57	PESO SECO PROBETA =	640
ALT. PROBETA (cm) =	13,5	VOLUMEN DE PROBETA=	457,7
PESO HUMEDO (g.) =	704	HUMEDAD (%) =	10
SECC. TRANSV. (cm2) =	34,42	TENSION TOTAL MAX.	28 Kpa
FACTOR CALIBRACION (f) =	0,78	FRICCION (°) :	21
ARO =	250	COHESION:	9,6 kpa

0,96 kg/cm2

Peso Húmedo		Humedad Optima Proctor		Densidad Probeta	
750		11			1,398
Altura H(0)	Diámetro	D/H	Arcotang	Angulo	Fricción
9,2	6,57	0,7141	0,6201	35,5	18,9
				Fi (0)	Fi

Tensión (Kpa)

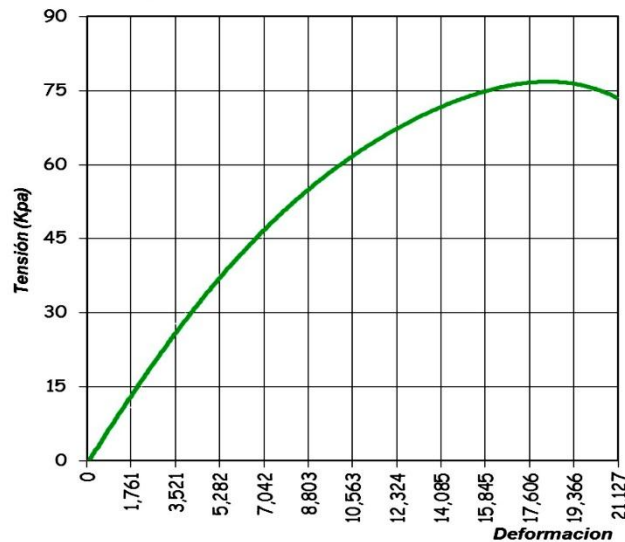
Deformación

## Ensayos de Compresión Simple - Sondeo 6

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE A DEFORMACIÓN CONTROLADA						
PARA LA CONSTRUCCION DE LA FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA						
DEPARTAMENTO CAPITAL. PROVINCIA DE CATAMARCA						
SONDEO 6		PROFUNDIDAD: 2,00 metros		COORDENADAS: S 28°26'26.93" - W 65°45'19.39"		
Deformación Vertical (0,01 mm.)	Deformación Unitaria Parcial (%)	Deformación Unitaria Acum. (e) - (%)	Lectura Aro (l) (0,01 mm.)	Secc. Transv. Corregida (cm <sup>2</sup> )	Incremento (l x f) (Kg.)	Tensión Total (s1) (Kpa)
0		0	0	34,42	0	0
25	0,173	1,761	5	35,04	3,9	10,91
50		3,521	13	35,68	10,14	27,85
75		5,282	18	36,34	14,04	37,86
100		7,042	22	37,03	17,16	45,42
125		8,803	27	37,74	21,06	54,68
150		10,563	31	38,49	24,18	61,57
175		12,324	35	39,26	27,3	68,15
200		14,085	37,5	40,06	29,25	71,55
225		15,845	40	40,90	31,2	74,76
250		17,606	42	41,77	32,76	76,85
275		19,366	42,5	42,69	33,15	76,11
300		21,127	42	43,64	32,76	73,57

DIAMETRO PROBETA (cm) =	6,6	PESO SECO PROBETA =	689
ALT. PROBETA (cm) =	14,2	VOLUMEN DE PROBETA =	485,8
PESO HUMEDO (g.) =	785	HUMEDAD (%) =	14
SECC. TRANSV. (cm <sup>2</sup> ) =	34,42	TENSION TOTAL MAX.	66 Kpa
FACTOR CALIBRACION (f) =	0,78	FRICCION (°) :	21
ARO =	250	COHESION:	9,6 kpa
			0,96 kg/cm <sup>2</sup>

Peso Húmedo		Humedad Optima Proctor		Densidad Probeta	
750		11			1,417
Altura H(0)	Diámetro	D/H	Arcotang	Angulo	Fricción
8,9	6,6	0,7416	0,6381	36,6	16,9
				Fi (0)	Fi

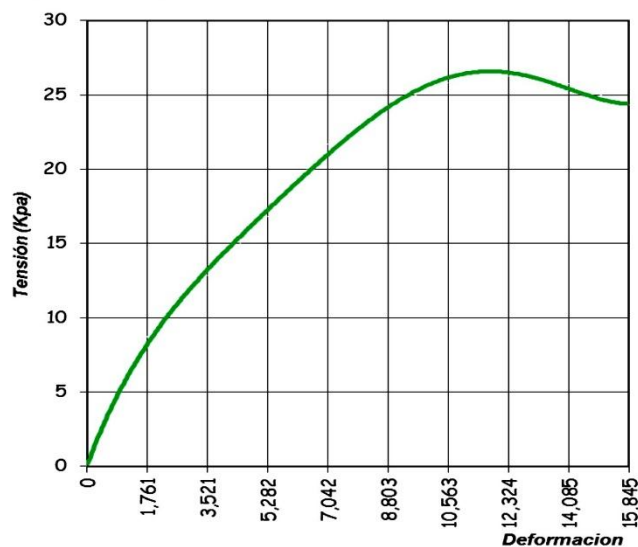


## Ensayos de Compresión Simple - Sondeo 6

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE A DEFORMACION CONTROLADA						
PARA LA CONSTRUCCION DE LA FUTURA CIUDAD UNIVERSITARIA						
DEPARTAMENTO CAPITAL. PROVINCIA DE CATAMARCA						
SONDEO 6	PROFUNDIDAD: 4,00 metros		SUELO: SM	COORDENADAS: S 28°26'26.31'' - W 65°45'21.36''		
Deformación Vertical ( 0,01 mm.)	Deformación UnitariaParcial ( % )	Deformación Unitaria Acum. ( e ) - ( % )	Lectura Aro ( l ) ( 0,01 mm.)	Secc. Transv. Corregida (cm <sup>2</sup> )	Incremento ( l x f ) ( Kg. )	Tensión Total ( s1 ) ( Kpa )
0		0	0	34,42	0	0
25	0,173	1,761	4	35,04	3,12	8,73
50		3,521	6	35,68	4,68	12,86
75		5,282	8	36,34	6,24	16,83
100		7,042	10,5	37,03	8,19	21,68
125		8,803	12	37,74	9,36	24,30
150		10,563	13	38,49	10,14	25,82
175		12,324	13,5	39,26	10,53	26,29
200		14,085	13,5	40,06	10,53	25,76
225		15,845	13	40,90	10,14	24,30

DIAMETRO PROBETA (cm) =	6,6	PESO SECO PROBETA =	646
ALT. PROBETA (cm) =	14,2	VOLUMEN DE PROBETA=	485,8
PESO HUMEDO (g.) =	730	HUMEDAD (%) =	13
SECC. TRANSV. (cm <sup>2</sup> ) =	34,42	TENSION TOTAL MAX.	24 Kpa
FACTOR CALIBRACION (f) =	0,78	FRICCION (°) :	21
ARO =	250	COHESION:	9,6 kpa
			0,96 kg/cm <sup>2</sup>

Peso Húmedo		Humedad Optima Proctor		Densidad Probeta	
750		11		1,330	
Altura H(0)	Diámetro	D/H	Arcotang	Angulo	Fricción
9,05	6,6	0,7293	0,6301	36,1	17,8
				Fi (0)	Fi



## ENSAYO DE CONTROL DE COMPACTACION - METODO CONO DE ARENA

ENSAYO CONO DE ARENA - CALICATA 1											
CONSTANTES DE EQUIPO											
Peso Esp. Aparente (g/cm <sup>3</sup> )			1,32			Peso Arena Cono (g)			1.089		
UBICACION		MATERIAL EXTRAIDO DEL POZO			PESO DE LA ARENA			VOLUMEN DEL POZO (cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD		COMPACTACION (%)
POZO Nº	Prof (m)	HUMEDO (g)	SECO (g)	HUMEDA D (%)	INICIAL (g)	SOBRANTE (g)	LLENA POZO (g)		IN SITU (Kg./m <sup>3</sup> )	MAXIMA (Kg./m <sup>3</sup> )	
1	1	3.925	3.801	3,3	6.500	1.485	3.926	2.974	1.278		#¡DIV/0!
1	2	3.805	3.605	5,5	6.500	1.805	3.606	2.732	1.320		#¡DIV/0!

ENSAYO CONO DE ARENA - CALICATA 2											
CONSTANTES DE EQUIPO											
Peso Esp. Aparente (g/cm <sup>3</sup> )			1,35			Peso Arena Cono (g)			1.110		
UBICACION		MATERIAL EXTRAIDO DEL POZO			PESO DE LA ARENA			VOLUMEN DEL POZO (cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD		COMPACTACION (%)
POZO Nº	Prof (m)	HUMEDO (g)	SECO (g)	HUMEDA D (%)	INICIAL (g)	SOBRANTE E (g)	LLENA POZO (g)		IN SITU (Kg./m <sup>3</sup> )	MAXIMA (Kg./m <sup>3</sup> )	
2	1	5.695	5.550	2,6	5.500	451	3.939	2.918	1.902	1.640	115,98